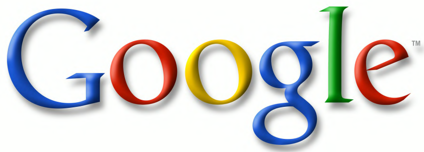




LEÇONS DE PHYSIQUE EXPÉRIMENTALE.

TOME SECOND.

LEÇONS DE PHYSIQUE EXPÉRIMENTALE.

Par M. l'Abbé NOLLET, *de l'Académie Royale des Sciences, & de la Société Royale de Londres.*

TOME SECOND.

SECONDE EDITION.



A PARIS,

Chez les Freres GUERIN, rue S. Jacques, vis-à-vis les Mathurins, à S. Thomas d'Aquin.

M. DCC. XLV.

Avec Approbation & Privilége du Roy.



LEÇONS DE PHYSIQUE EXPÉRIMENTALE.

V. LEÇON.

Sur le Mouvement composé, & sur les Forces centrales.

PREMIERE SECTION.

Du Mouvement composé.

ON appelle, *mouvement composé*, celui d'un corps déterminé à se mouvoir par plusieurs causes ou puissances qui agissent selon des directions différentes; tel est, par exemple, le

mouvement d'un bateau qui s'entretient dans la direction du canal *A B*, en obéissant en même tems aux deux puissances *C*, *D*, *Figure* 1.

Comme le mouvement simple a ses loix, le mouvement composé a aussi les siennes; elles peuvent toutes se rapporter à une seule qui est énoncée dans la proposition suivante, & dont elles ne sont que des conséquences.

Loi du Mouvement composé.

Quand un corps est mis en mouvement par plusieurs puissances qui agissent en même tems, & selon différentes directions, ou il demeure en équilibre, ou bien il prend un mouvement qui suit le rapport des puissances entr'elles pour la vîtesse, & il reçoit une direction moyenne entre celles des puissances ausquelles il obéit.

Car lorsque deux puissances agissent en même tems sur un mobile, ou elles sont directement opposées comme *A*, *E*, *Fig.* 2. ou bien leurs directions font angle ensemble, comme *B M* & *F M*, *C M* & *G M*, &c. puisque si elles se réunissoient, com-

me on le voit en *N*, il eſt évident qu'elles concourroient dans la même direction, & qu'il n'en réſulteroit qu'un mouvement ſimple dont la vîteſſe ſeroit le produit des deux forces : de ſorte que ſi l'une des deux étoit capable de tirer ou de pouſſer le corps *M* en *N*, les deux enſemble qu'on ſuppoſe égales, le feroient aller juſqu'en *K*.

Les deux puiſſances étant oppoſées dans la même ligne, le mobile ſur lequel elles agiſſent, demeure en équilibre entr'elles, en cas d'égalité ; car il n'eſt pas poſſible qu'il aille en même tems à droite & à gauche ; & pourquoi ſe porteroit-il d'un côté plutôt que de l'autre, s'il éprouve d'une part autant de réſiſtance qu'il ſouffre d'impulſion de l'autre part ?

Mais ſi les puiſſances ſont inégales, le mobile obéit à la plus forte des deux, ſelon leur différence ; c'eſt-à-dire, que ſi *E* eſt à *a* comme 3 eſt à 2, le corps *M* obéit à la premiére, comme ſi ſa valeur étoit 1, différence de 3 à 2. Ainſi les puiſſances étant directement contraires, il en réſulte ou le repos, ou le mouvement ſimple, mais retardé.

Quand les puiſſances ſont dirigées de maniére qu'elles faſſent angle, ou (ce qui eſt la même choſe) que leurs directions ſe croiſent au mobile, comme *B b*, *Ff*, alors le mouvement ſe compoſe en vîteſſe & en direction, & l'une & l'autre ſe meſure par la diagonale du parallélogramme, par les côtés duquel les puiſſances ſont exprimées. Expliquons ceci en conſidérant ſéparément dans la *Fig.* 3. les deux puiſſances *C*, *G*, & le mobile *M* de la *Fig.* 2.

Suppoſons donc que le corps *M* ſoit tiré en même tems par deux forces *C*, *G*, que nous faiſons égales en les exprimant par deux lignes de même longueur; que chacune de ces lignes ſoit diviſée en 6 eſpaces égaux & diſtingués par des chifres & par des lettres. Imaginons que *C M* eſt une régle ſur laquelle ſe fait le mouvement de haut en-bas, pendant que cette régle ſe meut parallélement à elle-même ſur la ligne *M G*. Il eſt certain que la régle mobile étant parvenue au chifre 1 de la ligne *M G*, le corps *M* ſera deſcendu d'une pareille quantité, & qu'il ne ſera ni au

point 1, ni au point *a*, mais en *h*; de même pendant que la régle parviendra au chifre 2, le corps *M* descendra encore d'un espace, & se trouvera au point *k*. Ce qui continuant toujours de même pendant le mouvement parallèle de la régle sur *MG*, on voit que le mobile *M* aura passé successivement par tous les points de la ligne *Mn*, diagonale du parallélogramme *MGnC*, dont les deux côtés *GM*, *CM*, expriment le rapport des puissances.

La longueur de cette diagonale *Mn* donne la vîtesse du mouvement composé, qui, comme l'on voit, n'est jamais aussi grande que la somme des deux vîtesses qui la font naître; car *Mn* n'égale pas *MG* & *MC* prises ensemble. Et si ces deux forces concouroient à pousser le mobile dans une même direction, elles lui feroient faire plus de chemin qu'il n'en fait lorsqu'elles le sollicitent d'aller vers deux points différens. Mais en obéissant ainsi à l'une & à l'autre en même tems, il arrive par un chemin plus court au terme des deux tendances.

Cette même ligne devient plus courte, à mesure que les directions des puissances font entr'elles un angle moins aigu; car dans le cas où ces puissances agiroient suivant les lignes *HM*, *DM*, *Fig.* 2. la diagonale seroit *MI*, plus longue que ne seroit *LM*, ou *OM*, si leurs actions étoient exprimées par *GM*, *CM*, ou bien par *BM*, *FM*.

De toutes les positions que peuvent prendre entr'elles deux forces qui agissent en même tems sur un mobile, il n'y en a qu'une qui rende leurs actions réciproquement indifférentes, c'est lorsque leurs directions font entr'elles un angle droit, comme *CM*, *GM*, *Fig.* 3. Car celle qui agit horizontalement tend à mener le mobile à la distance *G*, & il lui est indifférent que ce soit en *G*, ou en *n*, ou à tout autre point pris dans cette ligne. De même celle qui agit verticalement, demande que le mobile arrive à une distance égale à *MC*, & cette distance de haut en-bas se trouve par-tout dans la ligne *Cn*. Ainsi quand l'une & l'autre force agit en même tems, chacune d'el-

les s'exerce sur le mobile, comme s'il étoit libre de la part de l'autre ; elles ne s'aident ni ne se nuisent.

Mais il n'en est pas de même si l'angle que ces deux puissances font entr'elles, est obtus ou aigu ; dans le premier cas elles se détruisent en partie, & dans l'autre elles s'entr'aident. Si, par exemple, les deux forces font entr'elles l'angle *R P Q*, *Fig.* 5. le mobile vient en *S*, & la puissance *P R* est diminuée de la quantité *T Q*, ou *S t* : & au contraire si les puissances sont dirigées de maniére qu'elles fassent entr'elles un angle semblable à *V X Y*, *Fig.* 6. le mobile vient en *u*, & la puissance *X V* est augmentée d'une quantité égale à *Z u*, ou *Y y*.

La diagonale dont nous parlons, donne encore la direction du mouvement composé ; car si l'on applique à tout autre parallélogramme le raisonnement que nous avons fait, lorsque nous avons supposé les puissances égales entr'elles, comme les deux côtés d'un quarré parfait, on verra que cette ligne ne demeure également distante de l'une & de l'autre puissance, que dans le cas d'égalité ;

& que quand les forces sont inégales entr'elles, la diagonale est plus inclinée à celle des deux qui est la plus grande; comme on peut le voir en jettant les yeux sur la *Fig.* 4.

Il suit de ces principes, que si l'on sçait l'angle de direction des puissances & leur degré de force, on connoît aussi l'effet qu'elles doivent produire sur le mobile; c'est-à-dire, son degré de vîtesse, & le chemin qu'il doit tenir. Car on voit par les *Fig.* 3, 4, 5 & 6. que si l'on exprime la valeur des puissances, & leur direction, par des lignes qui se joignent par un bout, en établissant un parallélogramme sur ces deux premiers côtés, la diagonale donnera ce que l'on cherche.

Il suit encore, que si l'on connoît l'effet commun de deux puissances sur un même mobile, & l'état de l'une des deux, je veux dire, sa direction & son degré de force, on peut juger de la valeur & de la position de l'autre. Si je sçais par exemple, qu'un mobile a été porté de *P* en *S*, *Fig.* 5. par l'action de deux forces dont l'une est exprimée par *P R*, je tire la ligne *S Q* parallele, & égale

à *P R* ; & en achevant le parallélogramme, je vois que *P Q* eſt l'autre puiſſance plus petite que la premiére, & faiſant avec elle l'angle de direction *R P Q*.

Nous allons joindre les preuves d'expériences aux explications & aux raiſons que nous venons d'expoſer ; & pour procéder avec ordre, nous conſidérerons d'abord les effets de deux puiſſances directement contraires, & nous verrons enſuite comment ſe compoſe le mouvement produit par deux forces dont les directions ſe croiſent au centre du mobile.

Nous ſuppoſons encore que le rapport des forces demeure conſtant ; c'eſt-à-dire, que pendant tout le tems qu'elles agiſſent ſur le mobile, il n'arrive à l'une des deux aucun changement qui la faſſe plus ou moins différer de l'autre, en ſorte que ſi elles ſont égales en commençant, cette égalité perſévére juſqu'à la fin : ce qui peut fort bien ſubſiſter avec des affoibliſſemens cauſés par la réſiſtance des milieux, ou par des frottemens, pourvû que ces changemens ſoient égaux de part & d'autre.

PREMIERE EXPERIENCE.

PREPARATION.

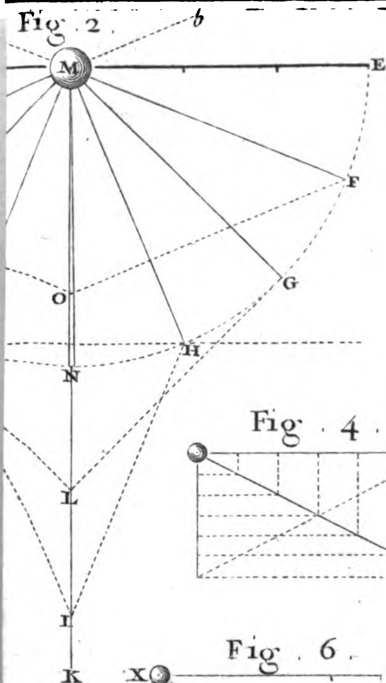
La *Fig.* 7. repréſente une table ronde, ou un guéridon, qui porte en ſa circonférence des poulies de renvoi, comme *A*, *B*; on fait paſſer ſur ces poulies deux cordes *CAE*, *CBD*, qui tiennent d'une part au mobile *C*, & qui ſoutiennent de l'autre part un poids de plomb *D*, *E*.

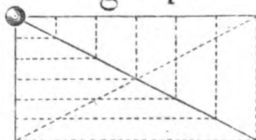
EFFETS.

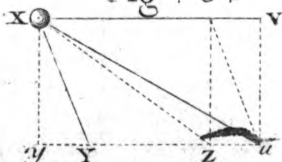
Si les deux poids ſont égaux, le corps *C* demeure en équilibre, partout où il ſe trouve dans la ligne *AB*; ſi le poids *E* péſe 2 onces, & que *D* n'en péſe qu'une, le corps *C* eſt emporté vers *A*, comme ſi *E* péſoit 1 once, & qu'il n'y eût aucune réſiſtance en *D*: ce qui ſe reconnoît en expoſant ſous ſa chûte une cuvette remplie de terre molle, dans laquelle il fait un enfoncement qu'on peut meſurer & comparer.

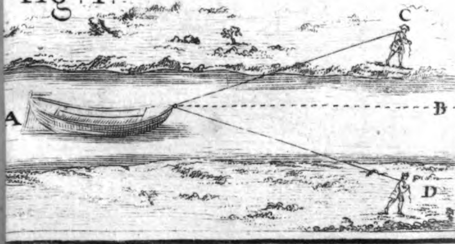
EXPLICATIONS.

On appelle *équilibre* en général, l'é-


Fig. 2.
b
M
E
F
G
O
H
N
L
I
K


Fig. 4.


Fig. 6.
X
V
y
Y
Z
u


Fig. 1.
C
A
B
D

tat d'un corps qui eſt ſollicité de ſe mouvoir en deux ſens oppoſés avec des forces égales ; cette double tendance ne peut avoir ſon effet, à cauſe que les forces qui la produiſent de part & d'autre ſont égales ; c'eſt pourquoi autant que dure cette égalité, le mobile demeure en repos. C'eſt auſſi la raiſon pour laquelle le corps *C* de notre expérience demeure partout où il ſe trouve, dans la ligne qui joint les deux puiſſances, lorſque les poids *E* & *D* ſont égaux.

Mais ſi l'un des deux vient à augmenter, l'équilibre eſt rompu auſſitôt, & le mobile obéit au plus fort. Il ne lui obéit cependant qu'autant qu'il excéde le plus foible ; car la réſiſtance de celui-ci n'eſt point anéantie, elle ſubſiſte toujours, & ſon effet eſt de conſumer une force contraire & égale à la ſienne ; ainſi quand le mobile *C* eſt emporté par le poids *E*, ce ne peut être que par la quantité dont ce dernier ſurpaſſe l'autre.

APPLICATIONS.

Tous les corps qui ſont preſſés ou retenus entre une puiſſance & un

point d'appui, sont autant d'exemples qui représentent ce que nous venons de prouver par l'expérience précédente : car nous sçavons par la troisiéme loi du mouvement simple, que la réaction est égale à l'action ou à la compression ; ainsi quand un menuisier serre un morceau de bois entre son établi & le valet, c'est le fixer entre deux puissances égales : on doit dire la même chose d'un morceau de fer retenu dans l'étau d'un serrurier ; d'une corde tendue entre deux points fixes ; d'un bateau attaché à un pieu pour résister à la violence du courant, &c.

Deux poids égaux sont en équilibre, & par conséquent demeurent en repos aux deux bouts d'une corde qui embrasse une poulie, tant que cette corde est égale de part & d'autre ; car alors chaque poids est autant tiré en en-haut par son antagoniste, qu'il l'est en en-bas par sa propre masse. Mais si la corde devient plus longue d'un côté que de l'autre, l'équilibre ne subsiste plus ; la pésanteur de la quantité excédente est une nouvelle puissance qui aide à descendre

celui des deux poids qui est le plus bas. Et c'est une chose à laquelle on doit faire attention, quand on construit des machines pour tirer de l'eau, des pierres, des mines &c de souterrains très-profonds; ou pour élever des fardeaux à des hauteurs considérables; si l'on oublioit de faire entrer en compte le poids des cordes, on tomberoit souvent dans des erreurs; car ces cordes sont ordinairement très-pesantes, & quand elles sont étendues de toute leur longueur, elles ajoutent beaucoup à la résistance qu'on s'est proposé de vaincre: on s'en apperçoit sensiblement quand on tire d'une grande profondeur un sceau plein d'eau; on a plus d'effort à faire quand il commence à monter, que lorsqu'il arrive en-haut.

II. EXPERIENCE.

PREPARATION.

La machine qui est représentée par la *Fig.* 8. est un plan vertical d'un pied en quarré, élevé sur une base: en *H* est un point fixe, auquel est attaché un fil qui passe sur une poulie *G*,

& qui porte à son extrémité un plomb *F*. La poulie *G* est mobile sur deux fils de laton tendus parallélement d'*H* en *I*, & on la tire avec un fil qui passe sur une autre poulie fixée en *I*.

EFFETS.

Lorsqu'on tire la poulie de *G* en *I*, le poids monte par la diagonale *F I*.

EXPLICATIONS.

Le corps *F* est mis en mouvement par deux puissances, dont une exige qu'il s'éléve d'une hauteur égale à *FG*; & l'autre, qu'il s'avance d'une longueur égale à *G I*. Car le point fixe qui arrête le bout du fil en *H*, & qui cause l'élévation du mobile *F*, doit être regardée comme une puissance égale à celle qui tire la poulie mobile vers le point *I*. Si ces deux forces avoient leurs effets séparément, le plomb parcourroit successivement les deux lignes *F G* & *G I*; mais parce qu'elles agissent en même tems, & qu'elles sont égales entr'elles, le mobile s'avance autant & à mesure qu'il monte, ce qui fait qu'il se meut dans la diagonale *F I*.

Cette expérience fait assez bien voir ce que nous avons donné comme une supposition dans la *Fig.* 3. Car le fil *FG* qui tient le plomb suspendu, représente la régle mobile qu'on peut regarder comme divisée en 6 parties égales, & qui diminue de longueur à mesure qu'elle s'avance sur chacune de ses paralléles marquées sur le plan : c'est la même chose que le corps *F* monte en s'avançant sur le fil, ou que ce fil, au bout duquel il est fixé, diminue de longueur ; s'il diminue donc d'une partie, lorsqu'il sera parvenu à la premiére paralléle, le plomb sera en *a* : s'il diminue encore d'une partie en s'avançant à la seconde paralléle, le plomb se trouvera en *b*, & ainsi de suite, jusqu'à ce qu'enfin le mobile ait parcouru toute la ligne *FI*.

APPLICATIONS.

Les vols qu'on imite à l'Opera & aux autres spectacles, s'exécutent par une méchanique assez semblable à celle que nous avons employée dans l'expérience que nous venons d'expliquer ; on a soin seulement de pro-

portionner les piéces aux efforts qu'elles doivent soutenir, & pour cacher le plus qu'il est possible les cordes aux yeux du Spectateur, on les fait avec des fils de laton assez menus, & en assez grand nombre, pour concilier en même-tems la force & la fléxibilité.

L'usage apprend à un Batelier, que ce n'est point par la ligne la plus courte qu'il faut diriger son bateau sur la riviére pour arriver au point le moins éloigné du rivage opposé ; il sçait que s'il tendoit de *P* en *R*, *Fig.* 1. il arriveroit en quelque endroit au-dessous, comme en *S*; il se dirige vers *T*, & la force du courant le ramène peu à peu, en lui faisant décrire une ligne courbe.

La raison de cet effet se présente d'elle-même quand on fait attention que le bateau poussé dans une direction qui n'est point celle du courant, compose son mouvement des deux forces dont il éprouve l'action : aussi voit-on que quand l'une des deux augmente, il faut que l'autre croisse par proportion, si l'on veut conserver le même effet. Si la crue des eaux

eaux rend le courant plus rapide, il faut travailler davantage pour arriver au même but; ou bien il faut diriger le bateau plus haut, & ce dernier parti est celui que nous voyons prendre aux Bateliers établis sur les ports pour le passage public.

Les poissons nous fournissent un exemple de mouvement composé, assez remarquable; lorsqu'ils veulent aller de côté ou d'autre, ils frappent l'eau d'un coup de queue; le fluide ne cédant point aussi vîte qu'il est frappé, sert de point d'appui au corps du poisson pour se tourner à droite ou à gauche. Mais quand l'animal veut aller en avant, ce mouvement est toujours précédé de deux coups de queue subitement frappés, & en sens contraires; le corps alors prend un mouvement composé de ces deux impulsions, il ne va ni à droite, ni à gauche, mais dans une direction qui tient le milieu entre l'une & l'autre.

Cette maniére d'aller en avant par des mouvemens obliques, & opposés les uns aux autres, se peut observer encore dans la plûpart des reptiles, comme les serpens, couleuvres,

vipéres, &c. l'habitude qu'ont ces animaux d'employer ces deux mouvemens, & de les combiner ensemble, leur donne la facilité non-seulement de fuir avec une grande vîtesse, mais même de tromper ceux qui les poursuivent par des détours fort adroits.

Les oiseaux, & la plûpart des insectes aîlés, composent aussi leurs vols quand il s'agit de tourner; c'est en battant d'une aîle ou plus fortement, ou plus fréquemment que de l'autre: c'est une observation qu'on peut faire aisément en regardant voler un papillon; l'irrégularité de ses mouvemens est un effet & une preuve très-sensible de l'action inégale de ses aîles.

L'art imite en quelque sorte ce méchanisme naturel avec lequel les animaux composent leurs mouvemens. Nous voyons tous les jours arriver sur la Seine des bateaux de foin & autres, qui n'ont d'autres moteurs que le courant de la riviére, & un petit aviron court & un peu large, qu'un homme fait mouvoir continuellement de droite à gauche, à-

peu-près comme la queue d'une carpe qui nage en avant.

Mais une imitation bien parfaite & bien curieuse de ces mouvemens composés, c'est l'appareil & la manoeuvre admirable d'une galére, où l'on voit le bon ordre & l'habitude employer avec une adresse inexprimable, plusieurs rangs de rames pour varier les vîtesses & les directions du vaisseau selon le besoin.

III. EXPERIENCE.

PREPARATION.

A B C D, *Fig.* 9. est un petit billard, au bout duquel s'éléve perpendiculairement un chassis qui porte deux aîles tournantes *E*, *F*; à chacune de ces aîles, est suspendu un marteau d'yvoire qui se meut librement autour du point *G*. On dirige les marteaux comme l'on veut, en tournant plus ou moins les aîles qui les portent, & l'on régle leurs vîtesses dans tel rapport que l'on souhaite, en les faisant tomber par des arcs plus ou moins grands, mais toujours en même-tems sur une bille d'yvoire placée en *H*,

EFFETS.

Quand les marteaux ont des vîtesses égales, & que les allées sont également inclinées à la ligne *HI*; la bille après le choc, suit cette derniére direction. Si les deux coups sont inégaux, ou les directions différemment inclinées, la bille décrit une ligne qui s'écarte plus ou moins de *HI*, comme *HB*, ou *HK*, selon le rapport des forces qui l'ont déterminée à se mouvoir.

EXPLICATIONS.

Cette expérience doit s'expliquer de même que la précédente : un des marteaux qui agiroit seul, chasseroit la bille dans sa direction; elle iroit donc vers *M* ou vers *N*; mais quand ils agissent tous deux en même-tems, comme il n'est pas possible qu'un même mobile se porte à la fois vers deux points opposés, la bille ainsi frappée prend un mouvement qui participe des deux vîtesses & des deux directions. Ce qu'on voit de plus par cet exemple, c'est que deux forces une fois imprimées par des causes qui

cessent d'agir ensuite, ont le même effet, & composent le mouvement du mobile, comme si leurs actions étoient continues; car on a dû remarquer que deux coups de marteaux opérent sur la bille, ce que les deux fils tirés en même-tems ont fait sur le plomb de la seconde expérience.

APPLICATIONS.

Ce que l'on jette par la portiére d'un carosse qui roule, ou sur le rivage quand on est dans un bateau emporté par le courant, ou bien de côté en courant à cheval, n'arrive jamais au but qu'on s'est proposé, si l'on n'a égard qu'à la seule impulsion du bras. Car outre celle-ci, on doit encore compter sur le mouvement de la voiture, du bateau, ou du cheval, qui est commun au mobile & à la main; c'est pourquoi quand on saute hors d'un carrosse ou d'un bateau en mouvement, on doit s'attendre de tomber au-dessous de l'endroit qu'on a vis-à-vis de soi à l'instant qu'on s'élance. Mais on ne doit pas croire que les accidens qui arrivent en pareil cas, viennent de ce que le mouve-

ment composé devenant plus oblique, ne porte pas le corps assez loin pour toucher terre, ou pour échapper à la roue; car on peut voir par la *Fig.* 3. que si la ligne *MC*, représente le corps de la voiture, l'extrémité *n* de la diagonale en est aussi loin que le point *G*; mais le mal vient de ce qu'on ne prend point toute la vîtesse qu'on croit prendre, parce qu'on a pour point d'appui un plan qui n'est point fixe, & dont le mouvement occasionne souvent une chûte inopinée.

Un noyau pressé obliquement, & qui s'échappe des doigts, est encore un exemple bien familier du mouvement composé de deux impulsions dont les effets subsistent, & conservent leurs rapports, quoique les causes ayent cessé d'agir. Ce fait en rappelle un autre qui est moins commun, mais qui n'est guéres ignoré des joueurs de billard. Si du tranchant de la main, on frappe une bille hors du plan de son équateur, qui est perpendiculaire au tapis sur lequel elle est posée; elle s'échappe d'abord en avant, comme le noyau pressé obliquement de deux

côtés ; mais ce qui paroît singulier, c'est qu'après avoir ainsi avancé de 8 ou 10 pouces, elle revient en roulant vers le lieu de son départ.

Ce fait s'explique aisément, quand on fait attention qu'en frappant la bille de la maniére qu'on l'a dit, on lui a fait prendre deux sortes de mouvemens ; sçavoir un en ligne droite, qu'elle a suivi d'abord, & un autre de rotation sur elle-même, & dans un sens contraire à son mouvement direct ; comme il arrive à une poulie suspendue dans une chape, si l'on en frappe le bord obliquement. Ce dernier mouvement ne s'apperçoit pas tant que la bille ne touche point le tapis, ou qu'elle glisse dessus avec trop de vîtesse : mais quand le mouvement direct est assez rallenti par les frottemens, & qu'elle vient à poser sur le tapis, le mouvement de rotation qui se fait en sens contraire, la raméne vers le lieu d'où elle est partie ; car il n'est pas possible qu'une boule tourne sur un plan sans changer de place, si elle touche ce plan par l'équateur de sa rotation, à moins qu'on ne supposât des surfaces sans

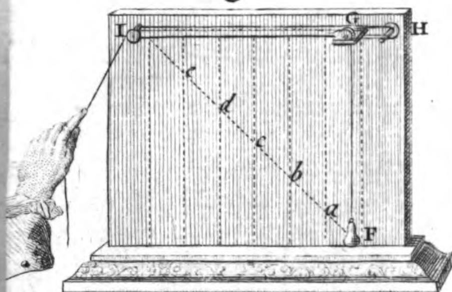
frottement, ce qui ne se trouve pas dans l'état naturel.

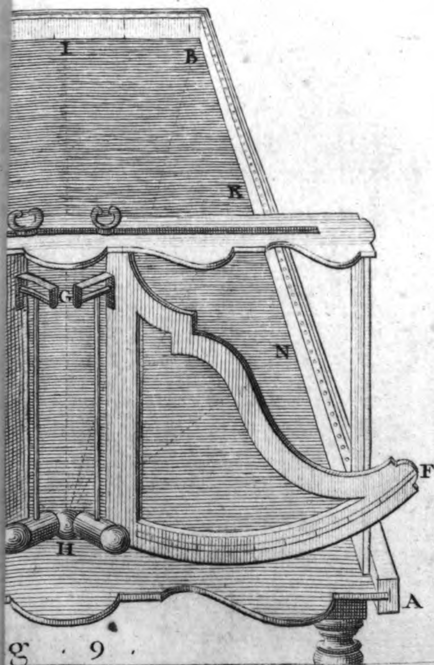
Jusqu'ici nous avons considéré le mouvement composé de plusieurs forces, qui gardent entre elles un rapport constant ; nous allons maintenant examiner de quelle maniére le mouvement se compose quand ces rapports changent. Quand, par exemple, de deux puissances qui agissent en même-tems, l'une devient plus forte ou plus foible, ou bien (ce qui revient au même) quand un mobile ayant reçu deux impulsions qui composent son mouvement, il se trouve des causes étrangéres ou accidentelles, qui diminuent ou qui augmentent l'une des deux ; comme si, par exemple, le fil *FH*, * de la seconde expérience, au lieu de se raccourcir toujours d'une partie, à mesure qu'il arrive à chacune des paralleles, diminuoit d'abord d'une, ensuite d'une & demie, &c. ou au contraire.

* Fig. 8.

On a pu remarquer par les preuves & par les exemples que nous avons rapportés, que le mouvement composé se fait toujours en ligne droite, toutes les fois que le mobile obéit à

Fig. 8.





g. 9.

à deux puissances qui persévérent dans le même rapport entre elles ; soit qu'elles ne reçoivent aucun changement, soit que les changemens soient égaux ou proportionnels de part & d'autre ; parce que les effets de chaque instant *m h*, *h k*, *k l*, &c. *Fig.* 3. & 4. se rencontrent dans la même direction, & que leur somme produit la diagonale *Mn*. Mais il n'en est pas de même, si le rapport des puissances change : le produit de chaque tems infiniment petit, est une ligne droite que le mobile décrit toujours en conséquence de la loi établie ci-dessus ; mais chacune de ces lignes a sa direction particuliére, selon l'état actuel des puissances, comme on peut le voir par la *Figure* 10. Car si le mobile *M* est poussé horizontalement par une force dont l'action soit égale dans tous les instans, & qu'en même-tems il obéisse à une impulsion de haut en-bas qui augmente de plus en plus, comme les espaces *M a*, *a b*, *b c*, &c. pendant le premier tems, le corps *M* parviendra en 1, à la fin du second au point 2, ensuite au point 3, &c. Chacune de ces lignes, com-

me on voit, est une petite diagonale; mais de leur suite, il se forme une courbe qui varie comme le rapport des puissances : deux expériences rendront cette théorie sensible.

IV. EXPERIENCE.

PREPARATION.

La Machine représentée par la *Fig.* 11. est formée de deux plans élevés verticalement, dont l'un *A B C*, plus avancé que l'autre, est chantourné en portion de cercle par le haut, & laisse en cette partie une espéce de goutiére *A B* entre lui & l'autre plan qui est plus reculé. Ce dernier est divisé de *B* en *D* en trois parties égales, & de *B* en *C* en trois parties inégales qui vont en augmentant comme 1, 3, 5. Aux angles que forment entre elles les lignes de division, on a fixé des anneaux perpendiculairement au plan; & le tout est porté sur une base que l'on met de niveau par le moyen de trois vis.



EFFETS.

On laisse tomber une balle de métal par la goutiére *A B*, & elle décrit la courbe *B E F*, en passant par les anneaux.

EXPLICATIONS.

Lorsque la balle est parvenue du point *A* au point *B*, par l'arc de cercle qu'elle a décrit, elle a acquis une certaine vîtesse avec laquelle elle s'échappe dans la direction *B D*; & en conséquence de la premiére loi du mouvement simple, elle suivroit cette ligne, si rien ne s'y opposoit. Mais cette balle est pesante, & la pesanteur, comme nous le verrons bien-tôt, est une force dont la direction est de haut en bas, & qui donne au mobile une vîtesse accélérée; c'est pourquoi lorsque la balle est parvenue au point *B*, & qu'elle cesse d'être soutenue par la goutiére, elle se trouve soumise à deux puissances, l'une qui est sa vîtesse acquise en descendant du point *A*, l'autre qui est sa propre pesanteur. La premiére qui a sa direction vers *D*, est uniforme; la

ſeconde qui eſt dirigée vers *C*, eſt accélérée : ainſi les eſpaces que cette balle parcourt en deſcendant, n'étant ni égaux entre eux, ni dans un rapport conſtant avec ceux qu'elle parcourt en avant ; le changement de direction qu'elle éprouve à chaque inſtant, lui fait décrire la courbe *B E F*.

Applications.

Des exemples ſans nombre, font voir que la peſanteur des corps change leur mouvement, quand ils ne ſont pas dirigés comme elle ; c'eſt une force qui a ſon effet, comme toute autre l'auroit en pareil cas ; & quand on ne l'apperçoit pas, c'eſt que l'autre puiſſance qui agit en même-tems ſur le mobile, eſt beaucoup plus grande.

Une balle de calibre tirée à 70 pas, ne paroît pas avoir baiſſé ; ſi l'on en juge par les apparences, on diroit qu'elle n'a ſuivi que la ſeule impulſion de la poudre, & que ſa peſanteur n'eſt entrée pour rien dans ſon mouvement, puiſqu'elle ſemble s'être entretenue dans la vraie direction du canon.

Mais il faut faire attention à deux choses; la premiére, c'eſt que la viteſſe de la balle dans une telle diſtance eſt ſi grande, que ſa peſanteur ne la feroit deſcendre que d'une très-petite quantité, ſi on la laiſſoit librement tomber pendant un pareil tems: ainſi cette chûte ne doit pas être plus conſidérable, quand un autre mouvement tranſporte le mobile. La ſeconde, (& cette raiſon eſt la plus forte,) c'eſt que les canons des armes à feu ſont plus épais vers leur culaſſe, qu'à leur embouchure, de façon que la ligne de mire *G H*, & la vraie direction de la balle, ſe croiſent en chemin, comme on le peut voir par la *Fig*. 12. Ainſi quand on croit diriger la balle en *H*, on la dirige véritablement en *I*; & ſi l'on tire à une diſtance convenable, que l'impulſion de la poudre ſoit proportionnée au poids de la balle, & que l'angle formé par la ligne de mire & la direction du canon intérieur, ſoit dans une bonne proportion; l'effet de la peſanteur fera baiſſer le coup de la quantité *I H*, & l'on touchera par un mouvement vraiment compoſé le but qu'on s'eſt pro-

posé, n'ayant égard qu'au mouvement simple imprimé par la poudre enflammée.

Tous les fusils relévent donc le coup, & quand on s'en plaint, on ne doit l'entendre que de ceux qui le font trop ; car si le canon étoit partout d'une même épaisseur, le rayon visuel seroit parallele à la direction de la balle ; le poids du plomb feroit de nécessité baisser le coup, & ce défaut de construction obligeroit le tireur d'avoir égard à l'effet de la pesanteur.

Tous les écoulemens d'eau qui ne se font point perpendiculairement à l'horizon, font encore voir des mouvemens composés en lignes courbes, par des forces dont les actions ne demeurent pas constamment en même rapport dans tous les instans. L'eau qui tombe d'une goutiére, par exemple, part horizontalement avec une vîtesse qu'elle acquiert en descendant du toît, & cette vîtesse d'elle-même est uniforme ; mais en même-tems elle tend à se mouvoir de haut en bas, avec une force qui croît dans tous les instans ; de cette double

tendance il naît une courbe, qu'un écoulement successif représente aux yeux, & son extrémité où se termine la chûte, se porte d'autant plus loin en avant, que la vîtesse horizontale est plus grande, comme on peut le remarquer, lorsque l'écoulement est plus abondant; car alors la masse de l'eau étant plus considérable, elle est aussi moins retardée par les frottemens, ou par la résistance de l'air.

V. EXPERIENCE.

Préparation.

Sur deux cordes de boyaux fortement & parallélement tendues d'un bout à l'autre d'une chambre, on fait glisser la planche *LM*, *Fig.* 13. que l'on tire par le moyen d'une ficelle qui passe sur la poulie de renvoi *N*; au milieu de cette planche mobile est un bout de tuyau ou de canon, dans lequel est un petit cylindre de bois dur, & qui peut se mouvoir de bas en haut sans sortir; dessous est un marteau poussé par un ressort qui se tend, quand on fait passer le manche

du marteau par la mortoiſe *L*, où il eſt retenu par une petite clavette *O*. Cette derniére piéce tient à une ficelle de 2 ou 3 pieds de longueur qui eſt fixée, comme les deux cordes, à la muraille; on met une balle d'yvoire & de calibre dans le petit canon, & l'on tire la planche le plus uniformément que l'on peut, & avec une vîteſſe capable de lui faire parcourir environ 8 ou 10 pieds dans une ſeconde.

EFFETS.

Lorſque la planche a parcouru environ le tiers de ſon chemin, la clavette retenue par la ficelle à laquelle elle eſt attachée, détend le reſſort qui pouſſe le marteau, alors le coup porté en deſſous ſur le petit cylindre ſe communique à la balle d'yvoire; elle eſt chaſſée du petit canon d'où elle s'éléve, & va retomber par une ligne courbe, ſur la planche qui a continué de s'avancer, pendant que la balle étoit en l'air.

EXPLICATIONS.

Si la planche *M L* demeuroit en

repos, pendant que le marteau imprime son impulsion, il est évident que la balle s'éleveroit perpendiculairement par la ligne *P p*; il est incontestable aussi, que si la balle n'avoit qu'un mouvement commun avec la planche, elle ne sortiroit pas plus qu'elle de la direction horizontale; mais si elle part avec les deux mouvemens ensemble, la loi du mouvement composé exige qu'elle prenne une direction moyenne, & qu'elle s'éléve par une ligne oblique à l'horizon, comme *P Q* ou *P R*. Lorsqu'elle est une fois déterminée à se mouvoir dans une de ces lignes, elle continueroit toujours en conséquence de la premiére loi du mouvement simple, si sa pesanteur n'y mettoit obstacle. Cette puissance, qui est comme résidente en elle, & qui la sollicite sans cesse à descendre, l'éloigne de plus en plus de la direction qu'elle a; & comme les espaces qu'elle lui fait parcourir de haut en bas vont toujours en augmentant (ce que nous expliquerons d'une maniére plus précise en parlant des loix de la pesanteur,) il arrive que dans le tems qu'elle auroit

mis à parcourir la ligne *PR*, elle parvient au point *S*, par la ligne *PTS*, & la planche qui n'a pas interrompu son mouvement, se retrouve sous la balle à la fin de la chûte.

APPLICATIONS.

L'expérience qu'on vient d'expliquer, fournit des réponses aux questions suivantes.

1°. A quelle sorte de danger seroit exposé un mousse qui se laisseroit tomber du haut en bas de la hune, pendant que le vaisseau est à la voile ? courroit-il le risque de se perdre dans la mer, ou bien sa chûte se feroit-elle sur le pont ?

2°. Que deviendroit une orange qu'un Cavalier courant à toute bride, prendroit soin de jetter perpendiculairement à l'horizon ? la vîtesse du cheval la laisseroit-elle en arriére ?

3°. En supposant que la terre tourne sur son axe en 24 heures, & qu'un canon ou un mortier placé sous l'équateur, eût un mouvement d'Occident en Orient qui égalât à-peu-près 250 toises par secondes, le boulet qui seroit tiré perpendiculairement,

ſuivroit-il cette direction, tant en montant qu'en deſcendant ?

Il ſuit des explications précédentes que le mouſſe tomberoit au pied du mât, par une ligne qui paroîtroit verticale à ceux qui ſeroient ſur le vaiſſeau; mais dont on appercevroit bien la courbure, ſi l'on étoit ſur le rivage : car il eſt bien vrai que cette chûte ſeroit parallele au mât qui eſt droit; mais les différens points du mât auſquels répondroit le mouſſe en tombant, ſeroient plus avancés les uns que les autres dans la direction horizontale, & leur ſuite ſe trouveroit dans une ligne courbe, parce que la chûte ſe fait avec une vîteſſe accélérée; ce qui s'entendra aiſément ſi l'on prend pour le mât la ligne *Mf* de la *Fig.* 10. les eſpaces interceptés entre les lettres *M*, *a*, *b*, *c*, *d*, *e*, *f*, pour le chemin que parcourt le mouſſe en tems égaux pendant ſa chûte, & la ligne *Mc* ou *f* 6, pour l'eſpace parcouru horizontalement par le vaiſſeau.

L'orange du Cavalier & le boulet de canon, ſeroient préciſément dans le cas de la balle d'yvoire de notre

derniére expérience, & feroient comme elle ; ni l'un ni l'autre de ces deux mobiles ne tomberoit en arriére ; & si des causes accidentelles n'y mettoient empêchement, l'une arriveroit dans la main du cavalier, & l'autre dans l'embouchure du canon d'où il seroit parti ; ce qu'il est aisé d'appercevoir, en appliquant à ces deux suppositions les raisons dont nous nous sommes servis pour expliquer le mouvement de la balle d'yvoire.

Quoique ces effets puissent se conclure en toute sûreté de la théorie, on ne doit guéres les attendre dans la pratique ; parce qu'à l'instant que le mobile part, son mouvement est reglé en conséquence des deux impulsions, telles qu'elles sont à l'instant du départ ; mais il arrive très-ordinairement qu'avant sa chûte le plan mobile qui doit le recevoir, reçoit quelque changement, ou dans sa vîtesse, ou dans sa direction ; ou bien le mobile rencontre des obstacles qui dérangent les rapports des impulsions dont son mouvement est composé : en pareils cas les à-peu-près

suffisent, & on les a presque toujours, ou s'ils manquent, les causes se présentent d'elles-mêmes.

II. SECTION.

Des Forces centrales.

TOUT ce que nous avons enseigné touchant le mouvement simple dans les leçons précédentes, & ce que nous venons d'exposer dans celle-ci sur le mouvement composé, fait voir qu'il n'y a aucun mouvement qui soit naturellement dirigé en ligne courbe ; un corps une fois déterminé à se mouvoir, soit par une seule cause, soit par plusieurs ensemble, tend toujours à persévérer dans l'état où il est, & cet état consiste à passer avec une certaine vîtesse d'un terme à un autre, par la voie la plus courte qui est une ligne droite. Si l'on voit donc un mobile décrire une ligne courbe par son mouvement, il faut considérer le chemin qu'il fait comme une suite de mouvemens non interrompus, mais dont les directions

particuliéres changent à tout instant, & forment entr'elles des angles fort obtus, de même qu'on a coutume de considérer un cercle, ou une ligne courbe, comme un assemblage de lignes droites infiniment courtes & insensiblement inclinées entr'elles; telle seroit la ligne 1, 2, 3, 4, 5, 6 de la *Fig.* 10. si les parties interceptées entre ces chifres n'avoient point une longueur sensible.

Cette suite de mouvemens en lignes droites dont l'assemblage forme une courbe, ne peut donc point être l'effet d'une seule détermination, plusieurs même ne suffiroient pas, à moins qu'elles ne changeassent continuellement de rapport entr'elles, comme nous l'avons expliqué & prouvé dans la section précédente.

Mais ces rapports peuvent changer, non-seulement quant à *l'intensité*, c'est-à-dire, quant au degré de force; mais ils peuvent varier aussi quant à la direction des puissances, & c'est une autre vûe sous laquelle il nous reste à considérer le mouvement composé.

Supposons donc que le mobile *A*,

Fig. 14. soit sollicité de se mouvoir par deux puissances qui soient entr'elles comme les deux lignes *AC* & *AB*, tant pour l'intensité que pour les directions, c'est-à-dire que leurs forces soient comme 1 à 3, & que leurs directions fassent entr'elles un angle droit au point *A*. Il est certain que le mouvement composé commencera par *Ad*, & qu'il continueroit jusqu'en *D*, si rien ne changeoit; mais si les deux puissances à la fin de ce premier tems se retrouvent disposées entr'elles comme au commencement; si, par exemple, la tendance vers *D* restant telle qu'elle résulte du mouvement composé, l'autre puissance se dirige vers *H*, le mouvement se composera de nouveau, & le mobile parviendra en *e*: & s'il arrive encore pareille chose, que l'une des deux puissances se dirige en *I*, on verra le mobile arriver en *f*, & de-là en *g*, & ensuite en *h*, si le point *K* & le point *L* deviennent successivement les termes de la puissance qui étoit d'abord *A C*.

Ce que nous venons de supposer, se trouve réellement dans le mouvement d'une fronde, ou de tout au-

tre corps que l'on fait tourner au bout d'une corde ; car la main passant successivement par les points *C*, *H*, *I*, *K*, *L*, fait passer la corde par les lignes *A c*, *d H*, *e I*, &c. & comme on suppose que cette corde est toujours de même longueur, elle représente une puissance qui ne varie que par sa position. Si l'on considére comme infiniment petites les lignes *A d*, *d e*, *e f*, *f g*, &c. que le mobile parcourt, leur suite sera une courbe telle qu'on voit décrire à tous les corps qui se trouvent en pareil cas.

Tous les corps qui circulent comme la pierre d'une fronde, font donc un effort continuel pour ne plus circuler, puisque s'ils étoient libres, ils s'échapperoient par quelqu'une des petites lignes droites qu'ils commencent à chaque instant, comme *d D*, ou *e E*, que l'on nomme *tangentes*. C'est une conséquence de la premiére loi du mouvement, que l'expérience confirme; car si la corde se casse ou se lâche tout-à-fait, quand la fronde est en *d*, la pierre qu'elle porte ne continue pas son mouvement par les points *e*, *f*, *g*, &c. mais elle suit la

ligne

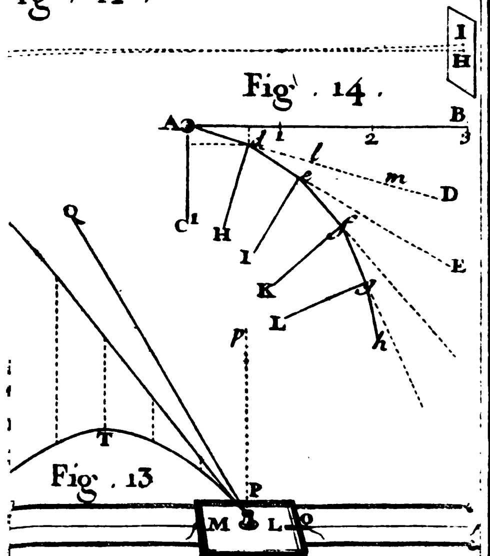
ligne *d D*; & toute l'habileté du frondeur consiste à bien estimer la tangente qui tend au but.

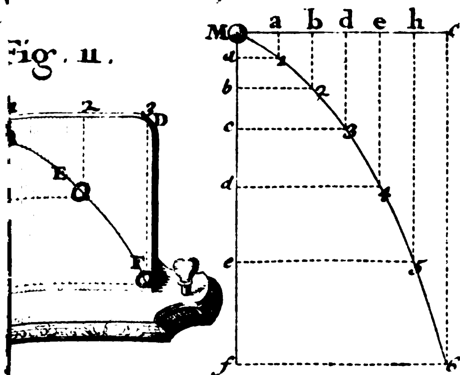
Mais tendre à s'échapper par la tangente, & faire effort pour s'éloigner du centre du mouvement circulaire, ce sont deux expressions qu'on peut regarder comme synonimes; car il est évident que si le mobile *A*, au lieu d'aller de *d* en *e*, & d'*e* en *f*, continuoit de *d* en *l*, & d'*l* en *m*; il s'écarteroit de plus en plus des points *I*, *K*; on peut donc dire en général que tous les corps qu'on fait mouvoir en ligne courbe, tendent à s'éloigner du centre de leur mouvement; & que quand cette tendance n'a pas son effet, c'est qu'ils sont retenus ou poussés vers ce centre, par une force contraire.

Ces deux forces qui produisent le mouvement circulaire ou en ligne courbe, & qui sollicitent continuellement le mobile, l'une à s'approcher, l'autre à s'éloigner du centre, se nomment *forces centrales*; & pour les distinguer l'une de l'autre, on appelle la premiére *force centripéte*, & la derniére *force centrifuge*.

Les forces centrales ſont directement oppoſées l'une à l'autre ; car quoique la force centrifuge ait ſa direction par la tangente, il faut faire attention que le rayon qui repréſente la force centripéte, s'il étoit prolongé, ſeroit coupé par cette tangente dans une ſuite de points qui vont toujours en s'écartant du centre : rendons ceci plus intelligible par une *Figure.*

Suppoſons, par exemple, que le mobile *M*, *Fig.* 15. ſoit porté par le rayon *BC*, ſur la longueur duquel il puiſſe gliſſer ; il eſt certain que ſi l'on fait tourner ce rayon autour du centre *C*, tous les points compris entre *M* & *B*, paſſeront ſucceſſivement avec le mobile ſur tous ceux de la tangente *MD* ; & par conſéquent le corps *M* en obéiſſant à la force centrifuge, gliſſera directement d'*M* en *B*. C'eſt par cette raiſon, que la corde d'une fronde demeure tendue pendant qu'on la fait tourner ; & que quand on fait circuler de même un gobelet plein d'eau, le fluide bien loin de ſe répandre, fait effort contre le fond du vaſe. Paſſons aux expérien-


Fig. 12.
I
H
Fig. 14.
A
B
1
2
3
d
l
m
D
e
C
H
I
f
E
K
g
L
h
Q
p
T
Fig. 13
P
M
L
O


Fig. 10.
M
a
b
d
e
h
Fig. 11.
2
3
D
E
F
1
2
3
4
5
6
a
b
c
d
e
f

tes, & faisons voir d'abord, que les forces centrales ont lieu dans toutes sortes de matiéres, fluide ou solide, pourvû que leur mouvement se fasse en ligne courbe.

PREMIERE EXPERIENCE.

PREPARATION.

La machine qui est représentée par la *Fig.* 16. est une table triangulaire établie solidement sur trois pieds que l'on peut caller avec des vis. Vers le sommet du triangle on a élevé perpendiculairement un montant qui porte une roue verticale, que l'on fait tourner avec une manivelle ou autrement: cette roue par le moyen d'une corde & de deux petites poulies de renvoi, méne deux grandes poulies horizontales *A B*, enarbrées de fer, & placées aux deux autres angles de la table: ces poulies ont plusieurs gorges dont les diamétres différent entr'eux, & c'est sur le plan supérieur de ces poulies qu'on établit les différentes piéces qui servent aux expériences de cette espéce.

Pour celle dont il s'agit maintenant,

on attache sur une des deux poulies *A* ou *B*, un support ou portant *CD*, comme il est représenté : un fil de fer tendu d'un bout à l'autre, enfile deux boules d'yvoire d'égale grosseur qui tiennent l'une à l'autre par une soie de 5 pouces de longueur, & qui peuvent glisser avec une grande facilité sur le fil de métal qui les porte. On place l'une des deux boules au milieu, & l'autre à la distance que la soie peut permettre.

EFFETS.

1°. Quand on fait tourner la grande roue, & qu'on imprime un mouvement circulaire au portant, la boule *E* décrit un cercle, & entraîne avec elle celle qui est au centre du mouvement.

2°. Si l'on coupe la soie qui lie les deux boules, & qu'on recommence l'expérience, la boule *F* demeure au centre, & l'autre s'échappe seule.

3°. Si dans une troisiéme épreuve, les boules étant liées comme dans la premiére, on les place à égale distance du centre de part & d'autre, elles ne partent ni l'une ni l'autre, avec

quelque vîtesse qu'on les fasse tourner.

EXPLICATIONS.

Lorsque le portant tourne horizontalement, le fil de fer qui est tendu d'un bout à l'autre, forme par sa révolution un plan circulaire dont il est le diamétre, & tous les points compris dans sa longueur, depuis le milieu jusqu'aux extrémités *C* & *D*, décrivent autant de cercles concentriques. La boule *E* par conséquent se trouve dans un de ces cercles qu'elle décrit aussi ; ce mouvement lui donne une tendance à s'éloigner du centre de sa rotation, par la tangente ; & comme elle est portée par un rayon qui se meut lui-même avec elle, elle glisse sur sa longueur, comme nous l'avons expliqué par la *Fig.* 15. Ce qui la fait mouvoir ainsi, est une force réelle, puisqu'elle l'emporte sur la résistance, non seulement de sa propre masse, qui, par son inertie, demeure autant qu'elle peut à la distance où on l'a posée, mais encore sur celle d'une autre masse qui ne circule pas, & qu'une pareille tendance ne sollicite point à sortir de sa place,

comme il paroît lorsqu'on coupe la soie; car alors le centre de la boule *F* étant au centre même de la rotation, il ne peut y avoir de force centrifuge que dans ses parties, qui tournent effectivement; mais dans un corps sphérique & homogéne, tel que la boule de notre expérience, les parties correspondantes ont des forces centrifuges égales, & directement contraires, en équilibre par conséquent: elles sont les unes aux autres comme les deux boules *E* & *F* liées ensemble par une soie, & posées à égales distances du centre de leur mouvement; mais nous serons plus en état de faire entendre cet équilibre, quand nous aurons fait connoître comment on doit mesurer la force centrifuge.

II. EXPERIENCE.

PREPARATION.

Au lieu du portant & des deux boules d'yvoire dont nous nous sommes servis dans l'expérience précédente, on en place un autre qui porte au milieu de sa longueur un petit

réservoir plein d'eau, auquel communiquent deux tuyaux de verre inclinés *G*, *H*, & enflés en forme de boule par les deux autres extrémités, comme on le peut voir par la *Fig.* 16.

Effets.

En faisant tourner ce portant & ce qu'il contient, l'eau s'éléve du réservoir par les tuyaux, & remplit les deux boules qui sont à leurs extrémités.

Explications.

Avant qu'on imprime le mouvement de rotation, l'eau se tient à niveau du réservoir, dans la partie inférieure des tuyaux; parce que ces petites colonnes du fluide font équilibre par leur poids à celles qui répondent, dans le réservoir, à l'orifice de ces tuyaux. Mais quand ces petites portions d'eau viennent à tourner avec une certaine vîtesse, la force centrifuge, plus grande que leur pesanteur qui leur tient lieu de force centripéte, les porte vers la boule creuse. A mesure qu'une partie monte, une autre lui succéde pour faire

équilibre à l'eau du réſervoir ; & ſucceſſivement il s'en éléve une aſſez grande quantité pour remplir & le tube & la boule.

APPLICATIONS.

Ces deux premiéres expériences prouvent bien clairement ce que nous avons avancé d'abord, que tous les corps indiſtinctement, en quelque état qu'ils puiſſent être, acquiérent une force centrifuge en tournant ; la liaiſon des parties, ou leur fluidité, ne change rien à cet effet ; cette eſpéce de force eſt comme la vîteſſe répartie à toutes les particules de matiére qui circulent, ou plutôt elle n'eſt autre choſe que leur vîteſſe même conſidérée dans cette circonſtance.

Les toupies & les pirouettes dont les enfans s'amuſent, peuvent être citées ici comme des objets d'inſtruction ; en effet, ces exemples familiers nous font voir que la force centrifuge ſe met en équilibre avec elle-même, dans les corps dont l'axe ou le centre de gravité ne circulent point ; comme nous l'avons enſeigné ci-deſſus, en mettant la boule d'y-

voire

voire au centre de la rotation ; en pareil cas si le mobile n'a que le mouvement circulaire sans aucun balancement, quoiqu'il paroisse très-souvent en repos, on reconnoît aisément que ses parties tendent à s'écarter du centre, & qu'elles ne sont retenues que par leur adhérence naturelle ; car si l'on y fait tomber quelque fluide, bientôt il se dissipe, & abandonne la surface solide avec laquelle il tourne. Les roues des carrosses & des chaises de poste jettent la boue au loin ; & la meule du gagne-petit vuideroit l'auge dans lequel elle plonge en partie, & feroit une aspersion continuelle & incommode, si l'on n'avoit soin d'arrêter l'eau qu'elle emporte de trop, par un morceau de cuir ou de chapeau, qu'on fait traîner sur sa surface.

Les soleils qu'on fait paroître dans les feux d'artifice, deviennent plus grands & plus beaux par leur mouvement de rotation ; car le salpêtre enflammé se répand par une infinité de tangentes & forme un plan plus étendu qu'il ne pourroit être s'il brûloit sans tourner.

On peut mettre notre seconde expérience à profit en appliquant à l'élévation des eaux, ou à leur évacuation, le principe dont elle est la preuve; c'est un moyen que l'on a déja tenté avec succès, & je ne doute pas qu'en bien des occasions on n'en pût tirer de grands avantages. La fameuse pompe de Hesse qui fut annoncée aux Sçavans sous le nom de *Rotatilis suctor* *, que Papin devina, & qu'il employa depuis avec divers changemens, n'étoit autre chose au fond qu'un tambour ou cylindre creux plongé dans l'eau, & dans lequel on faisoit tourner des volans fixés à un axe; ce mouvement faisant circuler l'eau, lui donnoit une force centrifuge qui la faisoit s'élever par un canal ou tuyau pratiqué à la circonférence du tambour. Plusieurs personnes ont encore construit des pompes, où la force centrifuge est appliquée d'une maniére ingénieuse. On en trouve quelques-unes dans Ramelli, & dans le recueil des machines approuvées par l'Académie des Sciences *. On a fait aussi sur ce principe des soufflets de forges *, & des espéces de cribles, ou vans, pour nettoyer le

* *Actes de Leipsick. Juin. 1689.*

* *Tom. 6. p. 11. & s.*

* *Ibid. tom. 5. p. 41.*

bled ; la partie principale de ces machines est toujours un axe garni de volans qu'on fait tourner dans un tambour ; on imagine bien que s'il y a un trou, ou un tuyau ouvert, à la circonférence du tambour, & un autre à l'un des côtés, près du centre du mouvement, il doit se faire un écoulement d'air continuel par le premier : car tandis que la force centrifuge cause une évacuation par la circonférence, le poids de l'air auquel rien ne s'oppose plus alors, doit remplir le tambour par le centre.

M. Desaguilliers profitant de ces deux déterminations qu'on peut faire prendre à des fluides par de semblables machines, en a fait construire une*, avec laquelle il s'est proposé de changer l'air de la chambre d'un malade, de renouveller aussi celui des souterrains, ou des lieux qui deviennent infects par le grand nombre ou par le mauvais état des personnes qui les remplissent : comme les salles de spectacles, les réfectoires de communautés, les infirmeries, &c. Les expériences qui en ont été faites à Londres à la chambre des

* *Transf. Philosoph. num. 437.*

Communes, ont fait voir que l'auteur ne s'étoit point trompé dans ses vûes, & que cette invention offre des avantages réels.

Si l'on vouloit se servir de tuyaux inclinés, comme dans notre expérience, il est vrai qu'on y trouveroit le même inconvénient que dans la vis d'Archimède. On ne pourroit guéres les appliquer qu'à des élévations d'eau médiocres, parce qu'ils exigeroient une trop grande longueur; mais il y aura bien des cas où cet inconvénient n'en sera point un. On sçait que le succès des machines est redevable aux circonstances, & que celle qui n'est pas la meilleure à certains égards, doit être souvent préférée pour d'autres raisons qui l'emportent.

La force centrifuge est un moyen dont je me sers souvent pour rassembler la liqueur dans mes thermomètres, quand des secousses ou quelqu'autre cause l'a séparée en plusieurs parties. Comme ce petit accident interrompt l'usage de l'instrument, & qu'il peut arriver à tous ceux qui en ont, je crois devoir dire ici le remè-

de que j'y apporte. Il est facile & fort simple. Il faut tenir le thermométre par le haut de sa planche, & le tourner un peu vîte cinq ou six fois, de maniére que la boule se trouve dans la circonférence du cercle qu'on lui fait décrire, & son tube dans le rayon. La liqueur séparée acquiert une force centrifuge qui la réunit bien-tôt au reste.

On sçait une partie des effets que produit un pareil mouvement sur les animaux. Les jeunes gens se divertissent quelquefois à faire tourner des poules après leur avoir mis la tête sous l'aîle, pour les endormir, disent-ils; & en effet on voit souvent ces animaux rester immobiles à l'endroit où on les pose après cet exercice; mais il y a toute apparence que c'est moins l'effet d'un sommeil, que celui d'un étourdissement causé par le trouble qui s'est mis dans leurs sens, & qui les empêche, tant qu'il dure, de recevoir les impressions qui les déterminent dans leurs mouvemens ordinaires.

Je sçais, à n'en point douter, qu'un animal peut mourir quand on l'ap-

plique à cette épreuve. J'ai attaché par les pattes de derriére un fort lapereau, à une corde que j'ai fait tourner rapidement par deux hommes, environ 100 tours de suite, & lorsque l'on cessa il n'étoit pas mort, mais il ne put se soutenir sur ses pattes, & il expira quelque tems après. Un chat que l'on fit tourner de même, ne mourut point, mais il vomit beaucoup; & quoiqu'il n'eût reçu aucun coup, on apperçut à sa gueule quelques goutes de sang. L'oeconomie animale se dérange sans doute en pareil cas, parce que la force centrifuge détermine les fluides à se porter vers la tête, leur cours naturel est interrompu par ce mouvement étranger, & leurs fonctions cessent.

Le jeu de bague, celui de l'escarpolete seroit dangereux par la même raison, si la position du corps ne prévenoit les accidens; si au lieu d'y être assis, ou dans une situation qui met les vaisseaux à peu près paralléles à l'axe de la rotation, l'on y étoit couché de maniére que la longueur du corps fût perpendiculaire à ce même axe, je ne doute nulle-

ment qu'on n'en fût bien-tôt incommodé: peut-être aussi pourroit-on tenter ce moyen , pour rétablir le cours des humeurs dans des membres qui sont attaqués de paralysie. Un Sçavant m'a prévenu sur cette pensée, mais comme il ne fait pas son étude ordinaire d'anatomie, ni de médecine, non plus que moi, je crois que c'est aux gens de l'art à juger de ce qu'elle vaut, & de l'usage qu'on en peut faire.

LA force centrifuge n'étant autre chose que l'effort d'un corps qui tâche de continuer son mouvement, par la tangente de la courbe qu'on lui fait décrire ; elle doit se mesurer comme le mouvement même, par la masse & par la vîtesse: ainsi de deux mobiles qui circulent avec des vîtesses égales, celui-là a plus de force centrifuge qui a le plus de matiére ; de même aussi, quand les masses sont égales, cette même force ne peut différer que par le degré de vîtesse.

Pour connoître le degré de vîtesse d'un corps qui circule, il faut avoir égard à deux choses; 1°. à la gran-

deur de sa révolution ; 2°. au tems qu'il employe pour la faire.

On appelle *révolution*, la courbe que décrit le mobile, à compter du point d'où il part, jusqu'à ce qu'il se rencontre sur ce même point, ou vis-à-vis, sur une ligne qui passe au centre. Tel est le cercle qui commence en *A*, *Fig.* 17. & qui finit au même point, ou la spirale *A E D*, qui commence & finit sur la même ligne *D C*. *Fig.* 18.

Le tems qui s'écoule pendant que le mobile fait une révolution entiére, s'appelle *tems périodique*. La vîtesse est d'autant plus grande, que le tems périodique est plus court, & la révolution plus ample : ainsi le mobile *A* iroit avec plus de vîtesse que le mobile *D*, si l'un & l'autre parcouroit en même-tems le cercle dans la circonférence duquel il est ; ou bien, si tous deux ayant la même révolution à faire, comme *A*, *F*, le dernier faisoit son tour plutôt que l'autre. De même que l'on mesure un cercle par son rayon, la révolution circulaire s'estime par la distance du mobile au centre ; par conséquent si la distance de *C* en *D* est une fois plus

petite, que de *C* en *A*, on doit conclure que la révolution du mobile *A* est une fois plus grande que celle de *D*.

En comparant les forces centrifuges de deux corps, nous avons donc trois choses à considérer, la masse, la distance au centre, & le tems périodique.

III. EXPERIENCE.

PREPARATION.

Sur l'une des deux poulies horizontales *A* ou *B*, de la machine qui est représentée par la *Fig.* 16. on établit un support *Fig.* 19. sur lequel sont arrêtés quatre tubes de verre inclinés au plan, & qui se joignent au milieu. Dans chaque tuyau de la premiére paire, sont renfermées deux liqueurs dont les pésanteurs sont différentes; sçavoir dans le premier, de l'eau commune & de l'huile de térébenthine colorée; & dans le second, de l'huile de tartre avec de l'esprit de vin. Ceux de la seconde paire sont pleins d'eau avec une petite boule de cuivre dans l'un, & une de liége dans l'autre.

Quand tout est en repos, les deux liqueurs les plus légéres se tiennent dans la partie la plus élevée des tubes qui les renferment, & chacune des petites boules occupe aussi la place qui convient à son poids : celle de métal demeure en bas, & celle de liége en haut de son tube. Mais lorsque l'on met la machine en mouvement :

EFFETS.

L'esprit de vin & l'huile de térébenthine cédent leurs places à l'eau, & descendent dans la partie inférieure de leurs tubes ; la boule de cuivre gagne le haut du sien, & celle de liége, tout au contraire, se porte de haut en-bas.

EXPLICATIONS.

Par le mouvement de rotation imprimé au support, chaque portion des tubes, & ce qu'elle contient, décrit un cercle, & acquiert une force centrifuge ; la premiére couche d'eau qui touche l'huile de térébenthine exerce donc contre cette liqueur, toute la tendance qu'elle a

pour s'éloigner du centre de son mouvement : cet effort seroit impuissant, si la force centrifuge de l'huile étoit égale à celle de l'eau ; parce qu'étant soutenue par une colonne de même liqueur appuyée contre l'extrémité du tube, rien ne l'obligeroit à céder sa place : mais elle est moins pesante, & l'eau, en conséquence de son excès de masse, prévaut contre l'huile, & la précipite peu à peu ; car ce qui se passe entre les deux premiéres couches arrive de même pour toutes les autres : ainsi l'huile & l'esprit de vin se déplacent, non par un effort positif de leur part, (car le mouvement circulaire donne aussi de la force centrifuge à ces deux liquides ;) mais parce que cette force en eux n'égale point celle de l'eau ; & comme la matiére est impénétrable, & que la place nécessaire pour contenir la colonne d'eau ne suffit pas pour comprendre avec elle celle de l'huile, le lieu le plus éloigné du centre est occupé par celle des deux liqueurs qui a le plus de force pour s'en emparer.

On doit expliquer de même le dé-

placement des deux boules; par-tout où elles se trouvent dans leurs tubes, chacune répond à un volume d'eau dont la masse est différente de la sienne, en plus ou en moins. Cette inégalité fait naître un excès de force centrifuge dans l'un des deux volumes qui se touchent; & de cette maniére la boule de liége plus foible que l'eau, est obligée de descendre; le cuivre au contraire prévaut, & s'éléve au-dessus de tous les petits volumes d'eau correspondans.

Applications.

On voit donc par ces effets, que la force centrifuge augmente comme la masse des corps, quand les vîtesses sont égales, & que la force centripéte d'une matiére, peut être l'effet de la force centrifuge d'une autre, qui circule avec elle ou autour d'elle. Le Paysan qui vanne son bled, nous en offre un exemple qui a mérité l'attention des Philosophes: lorsqu'il veut rassembler la paille qui est mêlée avec le grain pour l'en purger, il imprime à toute la masse un mouvement circulaire, & aussi-tôt

on voit les parties les plus légéres se porter au centre du mouvement, parce que les plus pesantes ont plus de force pour aller à la circonférence.

On remarque aussi que tous les corps qui flottent sur une eau qui tourne, se rassemblent vers le centre de son mouvement; c'est pourquoi l'on évite avec tant de soin tous les endroits de la mer & des grandes riviéres, où l'eau laisse appercevoir un semblable mouvement; car une triste expérience a fait connoître qu'on y périt le plus souvent.

Mais ce qui arrive par un excès de masse, se feroit de même par une plus grande vîtesse: un corps environné d'une matiére en circulation, quoiqu'il fût plus pesant que cette matiére, céderoit pourtant à sa force centrifuge, si elle tournoit beaucoup plus vîte que lui; de maniére, par exemple, que le degré de vîtesse dans l'une, l'emportât sur le plus de masse dans l'autre. Les tourbillons de vent qui enlévent la poussiére & le sable, nous en fournissent un exemple & une preuve; car on peut observer que ces corps beaucoup plus

pesans que l'air dans lequel ils tournent, sont en plus grande quantité au centre du tourbillon, quand il commence, & qu'ils n'ont point encore acquis toute la vîtesse du fluide.

Descartes en partant de ce principe, avoit ingénieusement imaginé qu'on pourroit expliquer méchaniquement cette force centripéte des corps, qu'on nomme *pesanteur*, en supposant autour de notre globe un tourbillon de matiére très-subtile dont la vîtesse seroit fort grande: car (disoit-il) cette matiére, à cause de la rapidité de son mouvement, auroit beaucoup de force centrifuge; & tous les autres corps qu'elle rencontreroit comme flottans en ayant beaucoup moins qu'elle, seroient obligés de lui céder dans tous les instans, jusqu'à ce qu'ils fussent arrivés à l'endroit le plus bas, c'est-à-dire, au centre du mouvement; ou qu'ils eussent rencontré quelque obstacle invincible qui les empêchât d'y aller.

Ce Philosophe cherchant à appuyer son raisonnement sur quelques faits, pour donner plus de vraisemblance à son hypothése, indiqua une

expérience fort curieuſe, qu'on n'a pas lieu de croire qu'il ait jamais exécutée de ſon tems, mais qui l'a été depuis, & que nous allons rapporter.

VI. EXPERIENCE.

PREPARATION.

A, *Fig.* 22. eſt un globe de cryſtal plein d'eau, avec laquelle on a fait entrer un peu d'eſprit de térébenthine coloré. Cette boule eſt ſoutenue aux poles par deux piliers ou poupées à pointes, entre leſquels elle peut tourner très-librement, lorſqu'on met en mouvement la grande roue verticale *B*, qui communique par une corde croiſée avec la poulie *C*, fixée à l'un des poles; le plan qui porte les deux piliers ou ſupports du globe, peut s'élever & s'incliner plus ou moins par le moyen de deux charniéres *D*, *D*, & d'une vis *F*, qui ſert à le fixer à la hauteur que l'on veut; le tout eſt porté ſur une table à trois pieds, que l'on met de niveau par des vis.

EFFETS.

1°. Quand on fait tourner le globe sur son axe placé horizontalement, l'esprit ou l'huile de térébenthine qui n'occupoit qu'un petit segment du globe en sa partie supérieure, se divise en un grand nombre de petits globules qui flottent dans la masse d'eau renfermée avec eux, & qui peu-à-peu reçoivent comme elle un mouvement de rotation : on les voit ensuite se resserrer de plus en plus, & former autour de l'axe de la rotation commune une enveloppe, ou plutôt un solide, dont la figure est ordinairement cylindrique.

2°. Dès que l'on cesse de faire tourner le globe de verre, le cylindre formé par les parties d'huile colorée, se dilate d'abord par les extrémités, & ensuite dans le reste de sa longueur, jusqu'à ce que le mouvement venant à cesser dans l'eau, toute l'huile se rassemble par sa légéreté, à la partie supérieure du globe où elle étoit avant l'expérience.

3°. Si l'on recommence le mouvement de rotation, & qu'on incline l'axe

l'axe du globe lorſque les particules d'huile y ſont raſſemblées ; elles ſe portent peu à peu au pole le plus élevé, & s'y tiennent tant que dure cette inclinaiſon.

4°. Quand, au lieu d'huile colorée, on met dans l'eau une petite boule de cire ; elle eſt portée dans l'axe par le mouvement de rotation, & s'y comporte comme chacun des globules d'huile ; c'eſt-à-dire, que ſi cet axe eſt bien horizontal, elle ſe tient par-tout où elle ſe trouve dans ſa longueur, & que s'il eſt incliné, elle gagne le pole le plus élevé.

5°. Un globule d'air que l'on ſubſtitue à la boule de cire, fait voir la même choſe ; mais ſi lorſqu'il eſt à l'un des poles on arrête, ou qu'on rallentiſſe le mouvement du globe de verre, il arrive quelquefois que cette particule d'air ſe porte vers le centre de la ſphére.

6°. Si l'on met dans le globe une petite boule de cire, que l'on aura rendue un peu plus péſante que l'eau, en introduiſant au centre un petit grain de plomb, & qu'on la faſſe circuler lentement à quelques pouces de

distance de l'axe ; en redoublant alors de vîtesse, on voit cette petite masse, quoique plus pésante qu'un pareil volume d'eau, descendre dans l'axe, & y demeurer constamment, en tournant sur elle-même ; & lorsqu'on incline l'axe de la rotation, au lieu de se porter au pole le plus élevé, comme la précédente, elle prend une route toute contraire. Cette expérience est délicate, elle demande un peu d'habitude dans celui qui la traite ; mais quand de dix fois qu'on la tente, elle ne réussiroit qu'une, ç'en est assez pour prouver le principe sur lequel ce fait est fondé.

EXPLICATIONS.

Pour bien entendre tous ces faits il faut concevoir d'abord la masse d'eau renfermée dans le globe de verre, comme composée d'une infinité de couches fluides fort minces les unes sur les autres, & qui vont toujours en décroissant de diamétre jusqu'au centre.

Quand on met le globe de verre en mouvement, la surface solide entraîne par son frottement celle du

fluide qui la touche immédiatement ; & comme l'huile colorée en fait partie, elle est déplacée au premier tour. Son déplacement occasionne sa division ; car étant portée plus bas qu'elle n'étoit, sa légéreté exige qu'elle remonte ; elle rencontre l'eau en mouvement qui la sépare, & chacune de ces parties pressée également de toutes parts par le fluide qui l'environne, prend une figure globuleuse. Le globe continuant de tourner, le mouvement se communique de couche en couche à toute la masse de l'eau, de maniére qu'elle se meut ensuite comme un solide ; je veux dire, que toutes les parties en tournant gardent entre elles des situations constantes. Ainsi comme tous les points de la surface du verre *C*, *D*, *E*, *F*, *G*, *Figure* 23. à compter d'un pole à l'autre, désignent des circonférences de cercles paralléles, de même on peut se représenter toutes les tranches d'eau qui leur répondent, comme autant de plans circulaires qui tournent parallélement sur le même axe *A B*.

Maintenant si nous considérons

nos petits globules d'huile dispersés dans l'eau, nous verrons que chacun d'eux est sollicité à s'approcher du centre, non de la sphére commune, mais du cercle particulier dans lequel il se trouve. Celui qui est en *a*, par exemple, & qui tourne dans ce paralléle, a bien, en conséquence de son mouvement circulaire, une force centrifuge, par laquelle il tend vers *F*, & avec laquelle il s'échapperoit certainement avec l'eau, si le globe étoit ouvert en cet endroit; mais il est renfermé, & il répond continuellement à un volume d'eau qui a plus de masse que lui, & qui tournant avec une vitesse presqu'égale à la sienne, lui dispute la place la plus élevée, avec une force centrifuge prévalente; ce qui l'oblige de céder jusqu'au centre du mouvement où cette force est nulle. Chaque particule d'huile éprouve le même sort dans la tranche d'eau où elle se rencontre; ainsi elles viennent toutes se ranger au centre de leur révolution particuliére, comme les chifres 1, 2, 3, 4, 5, 6, &c. & cet effet cesse dès que la cause ne subsiste plus;

c'eſt-à-dire, que l'huile remonte par ſa légéreté reſpective, quand l'eau perd ſa force centrifuge en ceſſant de tourner.

Tant que l'axe de la rotation eſt horizontal, & que le mouvement eſt uniforme dans toute la maſſe du fluide, les particules d'huile rangées dans l'axe conſervent conſtamment la forme d'un cylindre; & par quelle raiſon en affecteroient-elles une autre? La figure du verre l'exige-t-elle, comme l'a penſé un Phyſicien de ces derniers tems? c'eſt un ſentiment qui eſt inſoutenable, non ſeulement parce qu'il eſt pleinement démenti par l'expérience; mais encore parce qu'on ne trouve rien dans la théorie des forces centrales, ni dans les autres loix du mouvement, qui le favoriſe.

En effet, quand un corps plus léger que l'eau eſt pouſſé vers l'axe de la rotation commune à toute la maſſe; eſt-ce la partie du fluide qui eſt au-deſſus de lui qui le ſollicite à tomber? n'eſt-ce pas plutôt celle qui eſt au-deſſous, qui tend à le déplacer? quelle part a donc à cet effet

la ſurface du vaiſſeau & ſa figure ? quelle qu'elle puiſſe être, quand le vaiſſeau eſt plein, je n'y vois qu'un point d'appui qui retient le fluide, mais qui ne change rien à la direction des parties inférieures.

Mais ſi le raiſonnement laiſſoit quelque apparence de doute ſur cette queſtion, n'eſt-elle pas clairement décidée par l'expérience ? Si la ſphéricité du verre étoit capable de convertir par ſa réaction les forces centrifuges particuliéres de chaque cercle, en une force centripéte commune, comme on l'a prétendu ; je demande pourquoi l'on ne voit aucun ſigne de cette converſion, lorſqu'on fait tourner avec l'eau des parcelles d'huile, ou toute autre matiére légére : pourquoi ces corps en venant à l'axe n'affectent-ils jamais une figure qui puiſſe faire croire qu'ils tendent à un même centre ? par quelle raiſon une boule de cire, une bule d'air, &c. demeurent-elles indifféremment dans tous les points de l'axe où ils ſe rencontrent ?

Enfin pour achever de convaincre ceux qui auroient encore quelque

doute, changeons de vaisseaux, mettons notre fluide dans un hémisphére, dans un cône, dans un cylindre: si l'inclinaison des parois entre pour quelque chose dans les effets, nous verrons sans doute les corps légers se porter vers la base des deux premiers, & demeurer dans l'autre indifféremment où ils se trouveront: cette différence donneroit à la vérité quelque crédit à l'opinion que nous combattons; mais elle ne s'apperçoit nullement, & les personnes mêmes les plus intéressées à l'y trouver, sont convenues qu'on ne la voyoit pas, quand je leur ai répété ces expériences, avec tout le soin & toute l'attention possible.

Après un tel aveu, n'avois-je pas lieu de croire que mes preuves étoient victorieuses? non, voici encore une objection à laquelle il faut répondre. On oppose expérience à expérience; une bulle d'air, dit-on, revient du pole vers le centre de la sphére; elle y est donc poussée par une force qui ne peut être que la force axifuge, convertie en centripéte par réaction.

Quand le mouvement est unifor-

me dans le fluide, une boule de cire, une parcelle d'huile, &c. demeure dans tous les points de l'axe indifféremment & aussi long-tems que dure le mouvement uniforme; si la bulle d'air quitte le pole pour aller vers le centre de la sphére, c'est un tour de main qui n'en peut imposer qu'à ceux qui ne l'apperçoivent pas, ou qui sont trop prévenus pour leur opinion: en effet, cela n'arrive que quand on rallentit le mouvement du globe de verre, & en voici la raison.

Comme le mouvement se communique de la surface du verre à la masse de l'eau par le frottement, il se rallentit de même; mais ces frottemens ont d'autant plus d'effet, que les surfaces répondent à un plus petit volume d'eau: ainsi la partie du liquide qui est contenue sous la surface solide *CH*, perd son mouvement bien plutôt que celle qui est sous *G* ou sous *F*; la vîtesse commence donc à diminuer par les poles; & les parallèles qui approchent le plus de l'équateur, conservent la leur plus long-tems que les autres.

Quand la bulle d'air est dans l'axe, en

en quelque endroit que ce soit, elle y est retenue par la force centrifuge de l'eau; mais cette force diminue comme le mouvement circulaire, plutôt au pole qu'ailleurs; la bulle d'air qui s'y trouve, sort bien-tôt du lieu qu'elle occupe à cause de sa grande légéreté; l'inclinaison des parois du verre la conduit obliquement; mais comme en s'avançant ainsi, elle se rencontre dans des paralleles plus voisins de l'équateur, & dans lesquels le mouvement, & par conséquent la force centrifuge s'est conservée, elle est aussi-tôt repoussée vers l'axe, & plus près du centre qu'elle n'étoit avant son déplacement.

Sur quels fondemens pourroit-on penser que cette bulle d'air en pareil cas, ait une détermination fixée précisément au centre? Il arrive à la vérité qu'elle y va quelquefois; mais c'est l'effet de quelque accident, balancement ou secousses dans le fluide, défaut de position dans l'axe, &c. car le plus souvent elle ne va pas jusqu'à ce terme, ou bien elle passe outre.

Le mouvement du fluide plutôt

rallenti aux poles qu'ailleurs, est aussi la véritable cause par laquelle l'huile rangée en cylindre autour de l'axe, se dilate par les extrémités dès qu'on arrête le mouvement du verre.

Enfin quand on incline l'axe de la rotation, les corps qui s'y trouvent se portent au pole le plus élevé, ou à celui qui l'est le moins, selon qu'ils sont plus légers ou plus pesans que le fluide. Ce qui prouve bien encore qu'ils n'éprouvent du centre aux poles aucune force qui les sollicite à rester au centre, & qu'ils sont retenus dans l'axe par la force centrifuge, à-peu-près comme ils seroient dans un tuyau, selon la longueur duquel il leur seroit libre de se mouvoir.

Il reste à dire comment une boule de cire que l'on a rendue plus pesante que l'eau, peut être chassée au centre, & y être retenue par la même action qui y conduit un autre corps plus léger que le même fluide : la même cause produit-elle deux effets contraires ?

Si l'on voit aller au centre du mouvement commun un corps qui circule avec un fluide, c'est infailli-

blement qu'il a moins de force centrifuge que ce fluide; mais cet excès de force dans celui-ci, peut venir ou de sa masse, ou de sa vîtesse. Dans le cas présent, c'est par la vîtesse que l'eau a cet avantage sur la boule de cire: lorsqu'on la tient à quelques pouces de distance de l'axe, on augmente tout-à-coup le mouvement de l'eau qui ne communique pas d'abord toute cette augmentation de vîtesse au petit corps solide; l'excès de vîtesse qu'elle a sur lui pendant quelques instans, surpasse son excès de masse qui est très-peu considérable; ainsi la force centrifuge du fluide devenue plus grande que celle de la petite boule flottante, par cet accroissement de vîtesse, chasse cette derniére jusques dans l'axe. Dès qu'elle y est, elle tourne sur elle-même, & ses parties prenant des forces centrifuges directement opposées entre elles, sa pésanteur ne peut agir que selon la direction d'un pole à l'autre.

APPLICATIONS.

On voit par ces résultats, que la pensée de Descartes sur la cause phy-

ſique de la peſanteur, eſt moins juſte qu'ingénieuſe ; car s'il étoit vrai que les corps tombaſſent vers la terre, par la force centrifuge d'un tourbillon fluide, comme l'huile ou la boule de cire de notre expérience ; leur tendance ne ſeroit pas toujours dirigée au centre du globe, comme les phénoménes les plus connus de la peſanteur nous l'apprennent ; mais à différens points de l'axe, ce qui eſt évident par les expériences précédentes.

M. Hughens éclairé par la ſeule théorie, avoit apperçu cette difficulté bien avant que l'expérience l'eût rendue ſenſible. En trouvant l'hypothéſe d'un ſeul tourbillon inſoutenable, il imagina que le fluide, à la force centrifuge duquel on devoit attribuer la deſcente des corps graves, formoit un grand nombre de tourbillons, dont les révolutions ſe faiſoient en toutes ſortes de ſens. Ce nouveau ſyſtême n'a pas été beaucoup plus heureux que le premier : l'un eſt ſimple ; mais ſon inſuffiſance eſt prouvée : l'autre pourroit peut-être ſatisfaire à l'explication des phénoménes ; mais quel moyen d'admettre une matiére dont

le mouvement se fait dans toutes sortes de directions, sans se détruire ? aura-t-elle prise sur les autres corps, sans l'avoir sur elle-même ? & si elle se heurte en sens contraire, comment son mouvement subsistera-t-il ?

Cette derniére opinion sur la cause de la pesanteur, essuya beaucoup de contradictions, & donna lieu à des discussions fort curieuses ; mais quelque ingénieuses qu'aient été les raisons qu'on a apportées en sa faveur, il faut convenir, qu'elles n'ont point été assez fortes, pour faire regarder cette question comme décidée, puisque l'Académie des Sciences la proposa pour sujet du prix de l'année 1728.

Celui des Mémoires envoyés qui fut couronné, ne suppose dans le tourbillon que deux mouvemens dont les directions se croisent à angles droits ; c'est-à-dire, que l'un a pour axe un des diamétres de l'équateur, & que l'autre se fait sur les poles de ce même cercle, comme l'eau de notre globe de verre.

M. Bulfinger qui est l'Auteur de cette nouvelle hypothése, voulant

comme Descartes rendre son idée sensible par quelque fait, a eu à-peu-près le même sort; il a imaginé & indiqué un moyen * pour faire tourner en même-tems le globe de verre sur deux axes qui se coupent à angles droits; mais ce n'étoit point là l'essentiel: il falloit que la masse d'eau contenue dans ce globe, prît les deux mouvemens qu'on suppose dans le tourbillon; mais c'est ce qui n'arrive pas, & ce qui ne peut arriver; je suis sûr du fait pour avoir fait l'expérience avec soin, & pour l'avoir répétée plusieurs fois devant des témoins bien clair-voyans. En appliquant une marque à la surface extérieure du globe de verre, on voit que ces deux rotations n'ont lieu que par rapport au globe seulement; mais que relativement à quelque point fixe pris au dehors ou au dedans de la sphére, l'une des deux se réduit à une espéce de mouvement qui décrit un 8 de chifre, & dont la révolution entiére par conséquent se fait en deux sens contraires, par rapport aux objets qui sont dehors ou dedans le globe de verre:

* Fig. 24.

d'où l'on voit que l'eau contenue dans ce vaisseau ne reçoit pas en même tems deux mouvemens de rotation, comme on le pourroit croire, & comme on l'a prétendu; car le mouvement se communique du globe au fluide qu'il renferme, par le frottement de sa surface intérieure; mais quoique ce globe tourne sur deux sens, les differens points de sa surface ne décrivent point des cercles qui se coupent à angles droits. On ne doit donc pas être surpris de ce que, lorsqu'on en vient au fait, les corps légers ne font voir qu'une tendance à l'axe, comme dans les expériences d'une seule rotation, & non pas une direction au centre de la sphére, comme on l'avoit imaginé. Voyez les Mémoires de l'Acad. des Sciences, pour l'an. 1741. p. 184.

Quoique les hypothéses & les expériences que nous venons de rapporter, n'ayent point l'avantage d'expliquer d'une maniére bien satisfaisante, pourquoi les corps sublunaires tendent à se porter vers le centre de la terre; nous sçavons pourtant, à n'en pas douter, qu'une matiére flui-

de qui circule peut précipiter, non-seulement des corps plus legers qu'elle; mais même ceux qui ont plus de masse. Si ce principe, qui est incontestable, n'a pas été jusqu'ici appliqué assez heureusement, pour résoudre pleinement la question, nous ne devons pas désespérer qu'il ne le puisse être un jour. Il me paroît plus raisonnable de croire que d'autres pourront faire ce que nous n'avons pas fait, que de regarder comme absolument impossible ce que nous avons tenté inutilement.

V. EXPERIENCE.

PREPARATION.

Sur les deux poulies horizontales de la machine représentée par la *Fig.* 16. il faut fixer les deux supports *A*, *B*, *Fig.* 20. & 21. les deux lettres précédentes désignent deux boëtes qui glissent fort librement sur deux fils de métal tendus parallélement d'un bout à l'autre du support, & dont on peut varier les poids, en mettant dedans des rondeles de plomb. *C*, *D*, sont encore deux boëtes qui glissent

verticalement entre deux fils paralléles de métal soutenus & tendus par deux potences d'acier : l'on peut aussi varier leurs poids. Ces boëtes sont jointes entr'elles par des cordons & par des poulies de renvoi ; de maniére que *B* ne peut s'avancer vers le bout du support, sans enlever d'autant la boëte *D*. Sous chacune des deux premiéres boëtes il y a un petit ressort très-foible, qui traîne sur une crémaillére dont les dents sont presque à fleur du plan, & qui empêche la boëte de revenir en arriére, quand elle s'est avancée. Le support depuis le milieu de sa longueur jusqu'à son extrémité, de part & d'autre, est divisé en pouces & en lignes, pour régler la grandeur de la révolution de chaque boëte *A*, ou *B*, par la longueur du rayon au bout duquel on l'a posée.

EFFETS.

1°. Les deux boëtes *A*, *B*, étant également pesantes, comme aussi les deux autres *C*, *D* : si l'on place les deux premiéres à 4 pouces de distance du milieu de leurs supports,

& qu'on fasse tourner l'une & l'autre avec des vîtesses égales, en mettant la corde dans les gorges des deux poulies horizontales, qui sont égales entr'elles; chacune des deux boëtes *A* & *B*, s'échape en même tems vers l'extrémité de son support, & enléve la boëte *C*, ou *D*, qui lui fait résistance.

2°. Le même effet arrive, quand la boëte *A* pése deux fois autant que l'autre, & que celle-ci est au bout d'un rayon une fois plus long. Si, par exemple, *A* pésant 4 onces est au chifre 4, il faut placer *B* pésant 2 onces au chifre 8.

3°. Mais si les poids restant égaux, l'on met l'une des deux boëtes à 4, & l'autre à 8 de distance, celle-ci part, & la premiére reste en place, à moins qu'on n'augmente le mouvement.

4°. Enfin tout étant disposé comme dans le cas précédent, si l'on veut que les deux boëtes *A*, & *B*, s'échappent en même tems, il faut doubler le contrepoids de celle qui est à une distance double du centre, & cela réussit.

EXPLICATIONS.

Nous avons dit ci-dessus que l'estimation des forces centrifuges dépendoit de trois choses ; de la masse du corps qui circule, de sa distance au centre du mouvement, & du tems périodique de sa révolution. Dans les expériences que nous venons de citer, les tems périodiques sont égaux, parce que les deux poulies horizontales sur lesquelles sont établis les deux supports, & qui leur distribuent l'action du moteur commun, sont toutes deux de même grandeur : le milieu de chaque support est toujours le centre de la révolution, & par conséquent on en régle la grandeur par la distance que l'on met entre le centre & la position de la boëte : la masse du mobile est connue par le plomb dont on le charge ; & l'on peut connoître la quantité de la force centrifuge, par la valeur du poids *C*, ou *D*, qu'elle enléve, & qui doit être considéré comme une force centripéte.

Dans le premier cas, & dans le second, les forces centrifuges paroiſ-

ſent égales dans les deux mobiles, puiſqu'ils enlévent dans le même inſtant des réſiſtances égales. Et elles le ſont en effet : car d'abord la maſſe, la diſtance au centre, le tems périodique, tout eſt égal de part & d'autre : enſuite les maſſes à la vérité, & les diſtances au centre ſont différentes ; mais comme elles ſont en raiſon réciproque, l'une compenſe l'autre. Car nous avons dit & prouvé que la force centrifuge augmente autant par la vîteſſe que par la maſſe : or ici la vîteſſe dépend de la diſtance au centre, puiſque les tems périodiques ſont égaux ; ce ſont deux mobiles, dont l'un décrit un cercle une fois plus grand que l'autre dans le même tems, n'eſt-ce point aller avec une vîteſſe double ? Ainſi comme 2 de vîteſſe & 1 de maſſe équivaut à 2 de maſſe & 1 de vîteſſe, les forces centrifuges de nos deux mobiles ſont égales, quand leurs diſtances au centre ſont en raiſon réciproque de leur poids.

Dans le troiſiéme cas, la vîteſſe eſt plus grande dans l'un des deux ; il décrit un plus grand cercle, dans le

tems que l'autre en parcourt un plus petit ; la force centrifuge doit donc être aussi plus grande : & le quatriéme cas nous apprend que cet excès suit celui de la vîtesse, puisque la force qui en résulte, enléve une résistance double.

Applications.

Lorsque l'on a posé l'une des deux boëtes *A*, ou *B*, de l'expérience précédente, à une certaine distance du centre, si la dent de la crémailliére ne la retenoit en place, on conçoit aisément que le poids *C*, ou *D*, l'entraîneroit par le rayon à l'extrémité duquel elle est. On voit aussi que quand on la fait tourner avec assez de rapidité, sa force centrifuge la fait aller dans un sens contraire, & que les dents de la crémailliére n'ont rien à faire. Mais entre ces deux excès, il est un certain degré de force centrifuge, qui feroit un juste équilibre avec le poids *D* ; & s'il pouvoit subsister, il est hors de doute que le mobile continueroit ses révolutions, sans s'approcher ni s'éloigner du centre.

C'est une chose qui devient évi-

dente, si l'on se rappelle le troisiéme cas de la premiére expérience. Deux boules d'yvoire, de poids égaux, liées par un fil & placées à distances égales du centre de leur mouvement, se font réciproquement équilibre, & ne se déplacent point avec quelque vîtesse qu'on les fasse tourner. Les masses étant égales, leurs forces centrifuges ne peuvent augmenter que par la vîtesse; mais tant qu'elles sont dans le même cercle, on ne peut augmenter celle de l'une qu'on n'augmente en même tems, & également, celle de l'autre; ainsi leurs forces sont toujours égales & directement contraires. Dans quelque instant que l'on considére donc un de ces mobiles, il est en équilibre entre sa force centrifuge & celle de son antagoniste; & c'est par cette égalité de forces opposées, qu'il s'entretient constamment à la même distance du centre, ou (ce qui est la même chose) que ses révolutions sont toujours semblables entr'elles.

Les corps célestes ont des mouvemens qui doivent s'expliquer selon ces principes. Si la lune tourne autour de la terre, la terre elle-même

& les autres planétes autour du soleil, en faisant des révolutions si bien réglées, qu'un Astronome en connoît la durée & l'étendue avec la derniére précision ; c'est que tous ces astres sont sollicités en même tems par deux puissances : d'un côté la force centrifuge, qui résulte de leur mouvement presque circulaire, tend à les éloigner du centre de cette révolution ; du côté opposé, ils sont retenus par une force centripéte, dont l'existence est avouée de tous les Philosophes, quoiqu'ils soient encore peu d'accord sur la nature de sa cause. Si l'une de ces deux forces cessoit d'agir, ces grands mobiles viendroient se précipiter au centre du monde ; ou bien ils iroient se perdre dans l'immensité des cieux : mais n'ayons point de pareilles craintes, & ne nous arrêtons point à de vaines fictions. L'Etre qui a été assez sage pour arranger l'univers tel qu'il est, a pourvû à la durée de ses oeuvres, par des loix sur l'infaillibilité desquelles nous devons compter.

Nous ne nous étendrons pas davantage ici sur l'application que l'on

peut faire des forces centrales aux mouvemens des corps céleſtes ; parce que nous en traiterons à part dans la Leçon qui regarde le ſyſtême général du monde.

APRÈS avoir fait connoître d'où naiſſent les forces centrales, & de quelle maniére on doit en faire l'eſtimation, je pourrois examiner les différens rapports qu'elles peuvent prendre entr'elles, & toutes les ſortes de courbes qui peuvent naître de ces changemens : mais ces queſtions ne peuvent guéres ſe traiter comme il convient, ſans employer des démonſtrations géométriques, qui ne feroient point entendues par la plûpart de ceux, pour qui j'écris. D'ailleurs ce feroit paſſer les bornes que je me ſuis preſcrites, dans des leçons où je n'ai prétendu enſeigner que par voie d'expérience. Je paſſerai donc légérement ſur cet article, & je me contenterai de faire entrevoir méchaniquement les principaux effets qui doivent arriver, lorſque les forces centripétes & centrifuges ne perſévéreront point dans le même rapport pendant une ſeule, ou pendant pluſieurs

plusieurs révolutions de suite.

Pour prendre une idée des différentes formes que peut recevoir la courbe de révolution par ces changemens, prenons un fil que nous replierons sur lui-même, & dont nous joindrons les deux bouts ensemble par un nœud. Qu'il soit retenu d'une part à une épingle fixée perpendiculairement à quelque plan, & de l'autre qu'on le tienne tendu avec le bout d'un crayon, comme on le voit en la *Fig.* 25. Le crayon sera le mobile; l'effort que l'on fera pour tenir le fil tendu, exprimera la force centrifuge; & la longueur du fil, ou plutôt, la distance qu'il entretiendra de l'épingle au crayon, représentera la force centripéte.

Si l'on proméne le crayon sur le plan autour de l'épingle, & que le fil le tienne toujours à une distance égale, il est évident que la ligne de sa révolution sera un cercle; puisque pendant tout le tems de son mouvement, il aura été au bout d'un rayon de même longueur; & l'on jugera avec raison qu'un mobile fait une révolution parfaitement circulaire,

quand ses forces centrales ne changen point pendant qu'il se meut.

Mais si pendant qu'on proméne le crayon, on diminue la distance qu est entre l'un & l'autre, en faisant prendre au fil la forme d'un triangle, comme *a d c*, *Fig.* 25. ou autrement; la ligne de révolution, au lieu d'être la circonférence d'un cercle, comme ci-devant, sera toute autre courbe, comme *b c*, dont la nature dépendra des proportions qu'on aura mises entre les degrés de raccourcissement du fil & leurs durées. Cet effet fera comprendre qu'un mobile, dont les forces centrales varient entr'elles pendant sa révolution, décrit une courbe relative aux changemens de leurs rapports; & l'on en pourra tirer les conséquences qui suivent.

1°. Que si les rapports qui auront été changés pendant la révolution, se rétablissent dans leur premier état, avant qu'elle soit entiérement finie, la courbe que décrira le mobile, telle qu'elle puisse être, rentrera sur elle-même; & si les rapports des forces varient ensuite, comme ils ont varié

Fig . 24 .

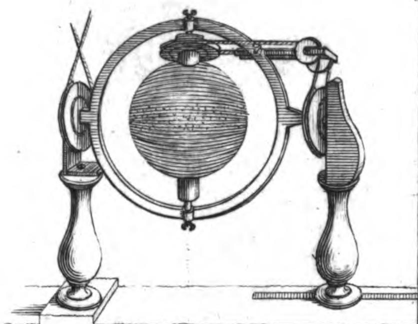
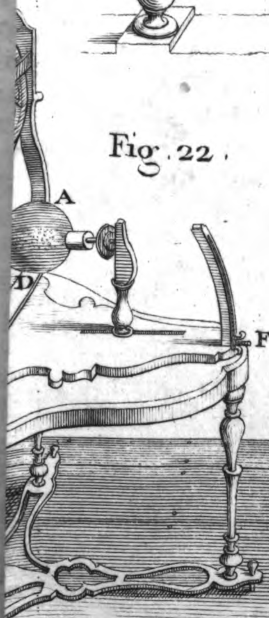


Fig . 22 .



d'abord, la seconde révolution sera parfaitement semblable à la premiére, &c.

2°. Que si ces rapports ne se rétablissent point, & que la force centripéte, par exemple, soit plus foible au commencement de la seconde révolution, qu'elle n'étoit en commençant la premiére, la courbe ne sera point rentrante; le mobile en s'éloignant du centre de son mouvement, décrira des spires plus ou moins réguliéres, selon le progrès de la force centrifuge, ou la diminution de la force centripéte.

Enfin pour donner un exemple des courbes réguliéres qui peuvent résulter de la variation des forces centrales, au lieu de retenir le fil par un seul point fixe, attachons deux épingles, *F*, *f*, *Fig.* 26. & faisons toujours mouvoir le crayon de maniére que le fil soit aussi tendu qu'il peut l'être; nous aurons par la révolution entiére une espéce d'ovale que les Géométres appellent *ellipse*. Le caractére principal de cette courbe est, que deux lignes tirées des points *F*, *f*, qu'on nomme *les foyers*,) à tel point

que ce puisse être de la circonférence, comme *FG*, *fG*, ou bien *FL*, *fL*, que ces deux lignes, dis-je, prises ensemble, égalent la longueur du grand axe *HI*.

Un mobile décrit donc une ellipse, lorsque par les variations des forces centrales, sa distance à l'un des deux foyers *F*, ou *f*, diminue & augmente régulièrement, comme les lignes *FH*, *FM*, *FG*, &c. & réciproquement, quand on lui voit décrire une pareille courbe, on peut légitimement conclure, que les forces centrales se mettent dans les rapports convenables, pour le mettre successivement dans tous les degrés de distance d'où elle procède.

Ces différens mouvemens s'exécutent encore fort bien, avec la même machine que nous avons employée précédemment, & qui est représentée par la *Fig.* 16. en y joignant ce qui suit.

VI. EXPERIENCE.

PREPARATION.

La *Fig.* 27. représente une table

ronde, qui a environ deux pieds & demi de diamétre, ouverte au centre par un trou rond large de 3 pouces; cette table s'attache ſolidement & parallélement ſur celle de la machine, *Fig.* 16. mais de maniére qu'il reſte entre l'une & l'autre une diſtance d'environ un pouce, pour donner la liberté au mouvement de la poulie horizontale *A* ou *B*: au centre de cette poulie on fixe avec des vis une eſpéce d'alidade coudée, ſur la longueur de laquelle gliſſe très-librement une boëte *R*, qui péſe environ 2 onces; & ſous laquelle on a attaché un porte-crayon. En *S* eſt un barillet garni d'un reſſort, & qui tire à lui la boëte *R*, par le moyen d'un cordonnet de ſoie, qui tient d'une part au porte-crayon, & de l'autre à une fuſée qui tient au barillet, & ſur laquelle il fait pluſieurs tours.

Effets.

Lorſqu'on fait tourner la poulie horizontale, l'alidade ſe met en mouvement; & pendant qu'elle circule, la boëte gliſſe d'*r* en *R*, & le crayon marque ſur un carton qui couvre la

table ronde, une ligne ſpirale qui commence en *r*, & qui finit en *R*.

EXPLICATIONS.

La boëte *R* mue circulairement reçoit une force centrifuge : dès que cette force vient à excéder la puiſſance du reſſort qui retient le mobile, celui-ci s'éloigne auſſi-tôt du centre de ſon mouvement. Il gliſſe en ligne droite ſur l'alidade ; mais c'eſt une ligne droite qui ſe meut elle-même, & dont tous les points décrivent des cercles concentriques. Ainſi comme le mobile paſſe par tous les points de cette ligne, à la fin de chaque révolution il ſe trouve dans la circonférence d'un plus grand cercle, que celui où il étoit, en la commençant ; & de ce double mouvement naît la ſpirale qu'on trouve tracée ſur la table après l'expérience.

APPLICATIONS.

C'eſt par des lignes ſemblables à celle que nous venons de faire connoître, que viennent au centre du mouvement tous les corps qui circulent avec d'autres dont la force

centrifuge prévaut. L'huile colorée du globe rempli d'eau, la paille qu'on fait tourner avec le grain pour l'en séparer, les corps qui flottent sur une eau qui tourne, &c. tous ces mobiles ne viennent point en ligne droite au centre commun, c'est toujours en circulant de maniére que la courbe qu'ils décrivent rentrant au-dessous d'elle-même, diminue jusqu'à zero l'étendue de ses révolutions; ce qui est la même chose que d'aller au centre par une ligne spirale.

VII. EXPERIENCE.

PREPARATION.

Les choses demeurent disposées comme dans l'expérience précédente, excepté seulement qu'au lieu du barillet à ressort, on ne met qu'une petite poulie qui tourne horizontalement; & au point *T*, *Fig.* 28. une autre petite poulie, dont l'axe est aussi vertical. Dessous la boëte *V* est encore une poulie qui tourne sur le porte-crayon; & un fil dont les bouts sont liés ensemble comme celui de la *Fig.* 25. embrasse les trois poulies,

EFFETS.

Lorſqu'on met l'alidade en mouvement avec une vîteſſe ſuffiſante, le mobile *V* décrit exactement l'ellipſe *TVX*, dont les deux foyers ſont *TY*; & s'il fait pluſieurs révolutions, c'eſt toujours en repaſſant ſur la même ligne.

EXPLICATIONS.

La force centrifuge du mobile tient toujours le fil auſſi tendu qu'il peut l'être; mais à cauſe des deux points fixes *TY*, ſa diſtance au point *Y* diminue & augmente ſucceſſivement & réguliérement, comme celle du crayon au point *F* de la *Fig.* 25. c'eſt pourquoi ſa révolution ſe fait exactement dans une ligne ſemblable à celle de cette figure; & comme les circonſtances demeurent les mêmes, pendant les révolutions ſuivantes, le mobile continue auſſi de ſe mouvoir dans la même ellipſe.

APPLICATIONS.

La connoiſſance de l'ellipſe, & de ſes principales propriétés, eſt d'autant

tant

tant plus intéressante, que tous les corps célestes font leurs révolutions dans des courbes rentrantes de cette espéce; l'Astronomie plus éclairée maintenant qu'elle ne l'étoit dans des tems plus reculés, n'admet plus ces cercles excentriques, ausquels on étoit obligé d'avoir recours, pour expliquer certaines variations que l'on observe depuis long-tems dans les distances des astres; c'est un sentiment presque universellement reçu que les *aphélies* & *périhélies* des planétes primitives, que les *apogée* & *périgée* de la lune sont des suites nécessaires d'un mouvement elliptique; mais ne prévenons point ici ce que nous devons dire ailleurs touchant les mouvemens célestes; contentons-nous d'avoir établi des principes que nous rappellerons, lorsque l'ordre des matiéres demandera que nous expliquions la forme, la durée, les rapports, &c. de ces révolutions, & que nous tâchions d'en indiquer les causes physiques.





VI. LEÇON.

Sur la Gravité ou Pésanteur des Corps.

ON appelle *gravité* ou *pésanteur*, cette force qui fait tomber les corps de haut en-bás, lorſque rien ne s'oppoſe à leur chûte, ou que les obſtacles ne ſont pas ſuffiſans pour les arrêter.

Les Philoſophes ne ſont point d'accord entre eux ſur la cauſe de cette force. Les différentes opinions que cette queſtion a fait naître, peuvent ſe ranger en deux claſſes ; les unes regardent la péſanteur comme un principe de la nature, comme une qualité inhérente & primordiale des corps, qui peut n'avoir d'autre cauſe que la volonté tout-à-fait libre du Créateur ; & c'eſt couper court à toutes difficultés : les autres prétendent qu'elle eſt l'effet de quelque matiére inviſible ; mais les preuves ſur leſ-

quelles elles sont appuyées (il faut l'avouer) ont essuyé de grandes objections, ausquelles il ne paroît pas qu'on ait encore pleinement répondu.

Dire avec Aristote & ceux qui l'ont suivi, que les corps en se portant de haut en-bas, obéissent à un principe qui les fait tomber ; ce n'est rien dire qui puisse éclairer l'esprit.

Regarder avec Newton la pésanteur des corps sublunaires, comme la suite naturelle d'une gravitation générale, qu'on observe dans toute la nature, & dont il a si bien calculé les loix ; c'est abandonner la cause pour s'attacher à l'effet.

Prétendre avec la plûpart des Newtoniens d'aujourd'hui, que cette pésanteur des corps qui nous environnent, n'est qu'un exemple particulier d'une tendance ou *attraction* réciproque, que tous les êtres matériels ont naturellement les uns vers les autres, par la seule volonté de Dieu ; c'est introduire en Physique une nouveauté qui s'est présentée à l'esprit de Newton, comme à celui de plusieurs Philosophes avant lui, * mais qu'il n'a pas

* *Kepler, Frenicle, Roberval.*

voulu qu'on lui imputât, s'il en faut croire ses propres paroles. *

Mais aussi attribuer comme Gassendi, la chûte des corps à certains écoulemens d'une matiére qui agisse comme celle de l'aimant; n'est-ce point indiquer une cause bien obscure, bien vague, & dont l'existence n'est fondée sur rien de certain?

* *Philos. Naturalis Princ. Mathem. tom. 1. pag. 11. ed. Genev.*

Enfin nous avons vû en parlant des forces centrifuges, quelle a été la pensée de Descartes sur cette question, en quoi son hypothése est défectueuse, ce que plusieurs grands hommes ont fait depuis pour la rendre recevable, & pour la défendre; & tout bien considéré, il semble que ceux qui voudront n'entendre, sur la cause physique de la pésanteur, que des explications qui soient en même-tems satisfaisantes & intelligibles, ne doivent point les chercher dans aucun ouvrage, qui ait été connu jusqu'à présent.

Tenons-nous-en donc aux phénoménes; si la cause échappe à notre curiosité, nous avons de quoi nous en dédommager, par la connoissance des effets; autant celle-là est incer-

taine, autant celle-ci est bien constatée, & ce qu'elle peut nous apprendre est également curieux & utile.

Avant Galilée, c'est-à-dire, il y a environ un siécle, on étoit peu instruit des loix de la pésanteur: c'est à ce Philosophe Italien que nous sommes redevables des plus intéressantes découvertes qu'on ait faites sur cette matiére. Sa théorie a été généralement reçue de tous les sçavans, & c'est sur ses fondemens que Messieurs Hughens, Newton, & Mariotte, ont travaillé depuis avec tant de succès & d'applaudissemens. Je ne me propose point de faire entrer dans cette leçon, tout ce que ces grands hommes ont enseigné touchant la pésanteur; cette entreprise excéderoit les bornes que je me suis prescrites, & c'est dans leurs écrits mêmes qu'il faut les étudier, quand on veut tout sçavoir ce qui est connu sur cette matiére; mais en suivant toujours le plan que je me suis fait, dès le commencement de ce cours, je ferai choix des propositions les plus intéressantes, & je les appuyerai sur des preuves d'expérience.

Je traiterai d'abord des effets qui

viennent de la péſanteur ſeule ; & je paſſerai enſuite à ceux où cette force n'entre que pour une part.

PREMIERE SECTION.

Des Phénoménes où la Péſanteur agit ſeule ſur le Mobile.

IL ne faut point confondre ces deux termes, *péſanteur* & *poids*, quand on les prend dans le ſens abſolu, c'eſt-à-dire, quand ce qu'ils expriment s'entend d'un ſeul corps, ſans aucune comparaiſon avec d'autres corps. Par *péſanteur*, on doit concevoir la force qui ſollicite les corps à deſcendre, & qui leur fait parcourir de haut-en-bas un certain eſpace, dans un tems donné. Par *poids*, nous entendons la ſomme des parties péſantes qui ſont contenues ſous le même volume.

La péſanteur appartient également à toutes les parties d'un même corps ; qu'elles ſoient unies ou ſéparées, cette force n'en eſt ni augmentée, ni diminuée : mais le poids d'un corps

change comme la quantité de matiére qui le compose. Qu'on laisse tomber en même tems deux onces de plomb, elles descendront avec la même vîtesse, soit qu'elles tiennent ensemble, soit qu'elles soient séparées; mais le poids dans l'une des deux, n'est que la moitié de ce qu'il seroit, si elles ne faisoient qu'un même corps.

On peut donc dire en parlant exactement, qu'un petit corps a autant de pésanteur qu'un plus grand, quoiqu'il ait moins de poids, parce que l'un & l'autre tendent de haut-en-bas avec la même vîtesse.

Mais quand on compare deux matiéres ensemble par rapport à leurs poids, & que l'on prend un volume déterminé pour terme de comparaison, comme lorsque l'on compare un pouce cube d'eau avec un pouce cube de mercure, le poids comparé s'appelle pesanteur *spécifique*, c'est-à-dire, la quantité de parties pésantes qui appartient spécialement à telle ou telle matiére, sous un volume donné. On dira donc, par exemple, la pésanteur (en sous-entendant *spé-*

cifique) de l'eau est à celle du mercure comme 1 est à 14, pour dire que le dernier de ces deux fluides, à volume égal, a 14 fois autant de poids que l'autre. Nous donnerons à la fin de l'Hydrostatique, une table des pésanteurs spécifiques des matiéres les plus vulgairement connues; mais avant que d'en venir à cet examen, tout ce que nous dirons doit s'entendre de la pésanteur absolue.

Quoiqu'on ne puisse pas dire que la gravité est essentielle à la matiére, puisqu'on la peut concevoir, sans ce penchant qu'elle a pour aller vers le centre de la terre; cependant une longue & continuelle expérience ne nous permet pas de croire, que de tous les corps qui sont en notre pouvoir, il y en ait aucun exemt de cette affection. Si quelques Philosophes ont pensé qu'il y eût des corps naturellement légers, c'est qu'ils ont été trompés par les apparences, & qu'ils ignoroient des choses qu'on a sçû depuis. Ces corps qu'ils ont crû se mouvoir de bas-en-haut, comme les vapeurs, la fumée, la flamme, &c. n'affectent cette direction con-

traire à celle de la pésanteur, que parce qu'ils sont dans certaines circonstances qui les y forcent. Que l'on fasse cesser ces causes, & bientôt on les verra tomber comme tous les autres corps, & prouver par leur chûte, qu'ils pésent comme eux, & dans le même sens.

PREMIERE EXPERIENCE.

PRÉPARATION.

On met sur la platine d'une machine pneumatique, un bout de grosse chandelle allumée, ou bien un petit morceau de papier trempé dans une liqueur faite avec l'étain & le mercure, & qui fume beaucoup; on met dessus un récipient cylindrique de verre, qui a 4 pouces de diamétre & environ un pied de hauteur; & l'on fait le vuide le plus promptement & le plus parfait qu'il est possible. Voyez la *Fig.* 1.

EFFETS.

Après quelques coups de piston, la flamme de la chandelle s'éteint, & quand l'air est suffisamment raré-

fié, la fumée de la méche, ou la vapeur qui s'est élevée du papier retombe à la maniére des corps graves, & s'étend sur la platine.

EXPLICATIONS.

La flamme ne pouvant subsister dans un air trop raréfié, par des raisons que nous dirons ailleurs, lorsqu'on a diminué la densité de celui qui est dans le récipient, la chandelle s'éteint; mais lorsque cet air est raréfié à un certain degré, non-seulement la fumée ou la vapeur ne s'y éléve plus, mais celle-même qui avoit gagné le haut du récipient, se précipite, parce que le fluide qui l'environne étant moins pésant qu'elle spécifiquement, ne peut ni la solliciter à monter, ni s'opposer efficacement à sa chûte. Il ne faut point passer légérement sur ce principe, parce qu'il sert à expliquer une infinité de phénoménes de cette espéce. Examinons donc en détail ce qui se passe dans cette expérience, & voyons comment l'air & la fumée changent de pésanteur relativement l'un à l'autre.

Une matiére rarefiée est celle qui,

ſous un volume donné, n'a plus un auſſi grand nombre de parties propres, qu'elle avoit avant ſa raréfaction. L'air du récipient, après pluſieurs coups de piſton, eſt réduit à un petit nombre de parties, ſans rien perdre de ſon volume, car il remplit toujours le récipient ; chaque portion priſe au hazard dans ce vaiſſeau, contient donc moins de particules d'air, ou bien eſt compoſée de parties beaucoup plus écartées les unes des autres, qu'elles ne l'étoient avant la raréfaction. Ainſi comme le poids ſuit le nombre des parties matérielles, une ligne cube de cet air péſe moins qu'une ligne cube du même air non rarefié. Ce que nous diſons de ce petit volume doit s'entendre, par proportion, d'une ſuite de volumes ſemblables poſés les uns ſur les autres en forme de colomne ; d'où l'on peut concevoir, que ſi la maſſe d'air contenue dans le récipient eſt diviſée en un certain nombre de colomnes pareilles, chacune d'elles péſera plus ou moins, ſuivant que la maſſe totale aura été plus ou moins raréfiée.

La fumée, ou la vapeur dont la source est placée au fond du vaisseau, peut être aussi considérée sous des petits volumes, dont la suite sera une colomne; & si l'on compare un volume de vapeur à un pareil volume d'air, on conçoit bien que celui des deux qui a le plus de parties pesantes, a plus de forces pour aller à l'endroit le plus bas, ou pour s'y tenir.

Ainsi l'air étant dans son état naturel, éléve les vapeurs, la fumée, la flamme, &c. parce qu'à volume égal, il a plus de poids; mais quand on l'a raréfié, c'est-à-dire, quand on a diminué le nombre des parties pésantes de ce volume égal, il ne peut plus les élever, il ne peut pas même les soutenir, & la fumée répandue dans le vaisseau, se trouvant alors plus pésante relativement à l'air, qui a changé de densité, le déplace à son tour, par sa gravité naturelle.

APPLICATIONS.

De tous les corps qui sont à la surface de la terre, il se détache continuellement des corpuscules qui, lorsqu'ils ont quitté la masse dont ils faisoient partie, se répandent & s'élé-

vent dans l'atmoſphére, juſqu'à ce que certaines circonſtances les déterminent à retomber. Ces petits corps connus ſous le nom de *vapeurs* & d'*exhalaiſons*, ſont la matiére d'une infinité de phénoménes admirables, étonnans & néceſſaires relativement à nos beſoins. Nous ferons mention ailleurs des différentes formes qu'ils prennent, & de leurs principaux effets, nous ne voulons parler ici que de leurs mouvemens, c'eſt-à-dire, de la maniére dont ils s'élévent & retombent, à quoi nous conduit naturellement l'expérience que nous venons d'expliquer.

Cette queſtion peut ſe réduire à quatre chefs principaux, ſçavoir, 1°. comment ces corpuſcules ſe détachent de leurs maſſes; 2°. par quelle cauſe ils s'élévent dans l'air; 3°. de quelle maniére ils s'y ſoutiennent à une certaine hauteur; 4°. & enfin pourquoi il arrive qu'ils retombent vers la ſurface de la terre.

Quant à la premiére demande, l'opinion la plus univerſellement reçûe eſt, qu'il regne ſur notre globe, & au-dedans, un certain degré de cha-

leur qui entretient en mouvement les parties insensibles de tous les corps. Ce mouvement, dit-on, détermine celles de ces parties qui sont les plus subtiles, & par conséquent les plus mobiles, à quitter la masse commune, comme on le remarque visiblement à la surface de l'eau que l'on fait chauffer, des viandes & des fruits que l'on fait cuire.

Il est assez vraisemblable que la chaleur naturelle ou artificielle, est la cause principale de cet effet; mais on a peine à croire qu'elle soit la seule, quand on considére que l'évaporation ne diminue pas toujours comme la chaleur. Dans les hyvers les plus rigoureux, on voit quelquefois d'un jour à l'autre disparoître la neige qui couvroit la surface de la terre; & l'expérience a fait voir à plusieurs habiles Physiciens, que la glace diminue considérablement dans l'air le plus froid & le moins exposé aux rayons du soleil.

Je ne sçais s'il faudroit en conclure, selon l'opinion d'un Auteur *

* Muschenbroek dans ses comment. sur les exper. de Florence, 1. part. p. 137. *ed. de Leide*. 1731.

fort versé dans la Physique expérimentale, que la glace a un principe interne de dilatation qui n'est point la matiére du feu, ni le degré de chaleur qui a pû s'y conserver, mais le mélange d'une autre matiére très-subtile qui la fait comme fermenter.

Ne pourroit-on pas s'en tenir à des principes connus & avoués de tous les Physiciens, en disant que dans les cas où il ne paroît pas qu'on puisse attribuer l'évaporation à la seule action du feu, on doit en chercher la cause dans la grandeur des surfaces, dans leur état, ou dans la nature du fluide ambiant, par rapport à celle des corps qui s'évaporent. Car toutes choses égales d'ailleurs, il est certain qu'un cube de glace isolé présente à l'air six fois plus de surface, que l'eau d'un vase dont l'ouverture seroit égale à un des côtés de ce cube : les parties évaporables ont donc six fois plus de liberté de s'échapper de la masse.

Mais à surfaces égales en apparence, n'a-t-on pas lieu de croire que les parties de la glace donnent plus de prise à l'air que celles de l'eau ? N'en

est-il

est-il pas de ce fluide comme de tous les autres ? à mesure qu'il approche de la congélation, sa fluidité ne diminue-t-elle point par degrés ? les parties ne commencent-elles point par se pelotonner, avant que de se lier ensemble ? Et si la glace n'étoit qu'un assemblage de ces petites masses, ou petits composés plus grossiers que les parties de l'eau ; sa surface raboteuse, sinon pour nos sens, au moins pour un contact proportionné à ces petites rugosités, ne donneroit-elle pas plus de prise à l'air qui la touche ?

Si ceci n'est qu'une conjecture par rapport à la glace, on ne peut nier que ce ne soit une chose évidente par rapport à la neige. Au premier coup d'oeil on remarque que sa surface est un assemblage de molécules légers & à jour, pour ainsi dire, de tous côtés ; & cette légéreté est d'autant plus grande que la neige s'est formée dans un tems plus froid.

Mais quel avantage prétendons-nous tirer de cette augmentation de surface pour l'explication du fait dont il s'agit ? En supposant que la masse

d'air qui environne les corps puiſſe contribuer à leur évaporation, d'une autre maniére que par le degré de chaleur qu'elle peut leur communiquer; il eſt certain que cet air aura d'autant plus d'action ſur les corpuſcules évaporables, qu'il les touchera dans une plus grande étendue, ou (ce qui eſt la même choſe) que ces petits corps tiendront par moins d'endroits à leur maſſe commune. On peut donc dire en général, que les mêmes parties d'un corps (de l'eau par exemple) ſont d'autant plus diſpoſées à s'exhaler, qu'elles ſont plus iſolées; & qu'en conſéquence, la neige ou toute autre congélation de ce genre peut s'évaporer autant, & peut-être plus que l'eau contenue dans un vaſe.

Mais que peut faire, dira-t-on, l'air extérieur ſur ces petites parties preſque iſolées?

Non ſeulement il aura plus d'avantage pour les détacher de la maſſe, en les heurtant de côté & d'autre, mais il employera pour les enlever directement, les mêmes moyens qui les font monter, quand elles ſont entiérement détachées.

Celui de ces moyens qui est le plus connu & le plus généralement reçû, c'est son excès de pésanteur. On dit communément que ces petits corps qui forment les vapeurs & les exhalaisons, étant spécifiquement moins pésans que l'air qui les environne, s'élévent dans l'atmosphére, comme la fumée de notre expérience s'est élevée dans l'air du récipient, & qu'ils montent ainsi jusques dans la moyenne région, où ils se trouvent en équilibre avec un air plus rare : la difficulté a toujours été de faire entendre, comment les parties évaporées des corps terrestres pouvoient acquérir cette légéreté respective, capable non seulement de les élever au-dessus de l'air, mais encore de vaincre la résistance du frottement, qui s'oppose continuellement à leur ascension : on a toujours peine à comprendre comment de l'eau, par exemple, peut devenir plus légére qu'un fluide qui, à volume égal, pése environ 800 fois moins qu'elle.

Quand on suppose ces particules fort divisées, leur extrême petitesse aide à concevoir, comment elles se

soutiennent en haut par le frottement, qui s'augmente comme les surfaces multipliées par la division; mais cette réponse qui léve une difficulté, quand il ne s'agit que d'expliquer la suspension des vapeurs, en fait naître une autre très-considérable, quand on examine leur ascension. Car le même frottement qui les soutient, leur fait obstacle, quand elles ont à monter, & cet obstacle est d'autant plus grand qu'elles sont plus divisées.

D'ailleurs que gagne-t-on par cette division, si chaque partie (quelque petite qu'elle soit) immédiatement environnée d'air, reste telle qu'elle étoit dans la masse d'où elle s'est échappée? Le volume d'air qui lui répond, ne décroît-il pas dans la même proportion? Et si l'eau en général pése 800 fois plus que l'air, ce rapport se trouvera dans les plus petits volumes, comme dans les plus grands.

Il faut donc de deux choses l'une, ou que les parties qui s'exhalent des corps changent d'état en quittant la masse, ou que l'air qui les touche employe, pour les enlever, un autre moyen que sa pésanteur.

Cette considération a fait naître quelques hypothéses fort ingénieuses : on a supposé que chacune de ces particules étoit un petit ballon rempli d'un air subtil, que la chaleur dilate, à peu près comme les boules de savon dont les enfans se divertissent. » Cette vésicule, dit-on, est plus lé- » gére que le volume d'air auquel elle » répond dans l'atmosphére, & son » excès de légéreté peut être tel, » qu'il surpasse encore la résistance du » frottement. »

L'imagination est ingénieuse, il faut l'avouer, & je crois qu'il ne seroit point impossible de lui conserver de la vraisemblance ; mais s'il faut de la chaleur pour donner à ces petits balons un volume suffisant, nous n'aurons guéres de vapeurs en hyver ; ou s'il en faut si peu pour les enfler, comment ne creveront-ils pas en été ?

D'autres cherchant dans la dilatation des vapeurs, un principe de légéreté suffisante, ont considéré leurs parties comme autant de molécules dont les pores agrandis & distendus par l'action du feu, augmentent leur

volume autant & plus, que leur premiére densité n'excédoit celle de l'air. Suivant cette opinion, une particule d'eau réduite en vapeur, sera, par exemple, 1000 ou 1200 fois plus grande qu'elle n'étoit, & par conséquent elle répondra à un volume d'air plus que suffisant pour la soulever. Cette grande dilatabilité des vapeurs est appuyée sur des expériences qu'on ne peut révoquer en doute, & que nous rapporterons quand l'ordre des matiéres le permettra; mais elle exige un degré de chaleur beaucoup plus grand que celui qui régne ordinairement dans les corps qui commencent à s'évaporer; & si partant d'un tel exemple, lorsqu'on voit des vapeurs s'élever par un tems frais, on conclut qu'il fait assez chaud pour les dilater au point d'être plus légéres que l'air, il paroît que c'est supposer ce qui est en question: je crois qu'il y a une grande différence entre la simple évaporation, & la dilatation des vapeurs.

Mais si la chaleur naturelle ne peut le plus souvent que contribuer à détacher ces corpuscules de leurs mas-

ſes, & qu'elle ne les mette pas toujours en état de s'élever, ſi l'air d'ailleurs ne peut par ſon poids ſeul les forcer de monter tels qu'ils ſont ; quel eſt donc le moyen que la nature ajoute à cette premiére cauſe ? Car il eſt certain que les vapeurs s'élévent en tout tems, il n'y a que du plus ou du moins.

S'il m'eſt permis de hazarder ici mes conjectures, je dirai que l'air de l'atmoſphére fait en même tems l'office de diſſolvant & d'éponge à l'égard des corps qu'il touche immédiatement. Comment conçoit-on que de l'eau douce devient ſalée, quand on la met dans un vaiſſeau au fond duquel il y a du ſel ? C'eſt que la liqueur s'inſinuant dans les pores du corps ſolide, ſe rejoint elle-même de tous côtés deſſous les parties qui compoſent la ſurface, les ſouléve enfin, & les diviſe à tel degré, que ces parties elles-mêmes entrent dans les pores de l'eau, de la même maniére, & par la même cauſe que celles de l'eau ont pénétré le ſel. Plus les parties du ſel ſont iſolées, plus le ſel eſt poreux ; plus il eſt humide avant qu'on le

plonge, & plus aussi sa dissolution devient facile, & l'on en voit la raison, sans qu'il soit besoin de la dire; de même les corps qui s'évaporent, continuellement plongés au fond d'une masse d'air spongieuse, fournissent une quantité de vapeurs d'autant plus abondante, que leurs parties sont plus exposées à l'action de ce fluide, & qu'il est lui-même par son état actuel, plus disposé à les admettre dans ses pores. Je n'oserois dire que l'air s'insinue dans les pores des corps solides ou des liquides, comme l'eau dans du sucre ou du sel qu'elle dissout; mais je n'avancerai rien que de croyable, quand je dirai, que, puisqu'il y a dans tous les corps une très-grande quantité d'air disséminé, leurs surfaces sont composées de molécules dont un très-grand nombre n'est que de l'air, & que cet air communique à d'autre qui fait de même, partie des couches inférieures; tellement que la matiére propre de ces corps lorsqu'ils sont environnés d'air, ressemble à un grain de sel humide qu'on plonge dans l'eau, & qui est d'autant plus dissoluble qu'il a été plus

plus pénétré d'eau avant que d'être plongé. La surface qui nous paroît la plus unie, présente donc à l'air qui la touche, des parties isolées & qui ne tiennent à la masse que par un petit nombre de points; & comme il n'y a aucune matiére connue, en tel état qu'elle puisse être, dont les parties soient parfaitement en repos les unes à l'égard des autres, il n'y a donc à la superficie des corps aucune particule qui ne soit disposée plus ou moins à céder aux efforts de l'air qui l'entoure.

Mais si l'air est, comme on l'imagine pour expliquer son élasticité, un corps spongieux dont les parties ressemblent à de petits filamens ou à de petites lames spirales; pour enlever les petites parties des corps dont nous venons de parler, il n'aura pas besoin d'autre force, que celle qui s'observe tous les jours dans les corps de cette espéce; car comme le sel s'éléve dans une masse d'eau à mesure qu'elle le dissout, quoique ses parties soient plus pesantes que celles de l'eau, comme l'eau s'éléve dans du sucre malgré son propre poids, de même on

pourra dire que les vapeurs & les exhalaiſons, ſans devenir plus légéres que l'air, s'élévent dans l'atmoſphére ſuivant la proportion qu'il y a entre elles & la poroſité du fluide.

Il eſt vrai qu'on ne ſçait pas bien comment les liqueurs s'élévent au-deſſus de leur niveau, dans une éponge, dans les tubes capillaires & autres corps ſemblables; car de dire que l'attraction eſt la cauſe de cet effet, c'eſt ne ſatisfaire qu'une partie du monde, encore n'eſt-ce pas celle qui n'admet que des idées claires & intelligibles; mais on eſt parfaitement d'accord ſur le fait; & quand je dis que les vapeurs montent dans l'atmoſphére, comme l'eau dans une éponge, je ne prétens pas remonter juſqu'à la premiére cauſe; je m'en tiens à la cauſe prochaine & immédiate, en un mot, je ne me propoſe que d'expliquer un fait par un autre, ce qui eſt très-permis en Phyſique.

Je ne puis étendre ici cette idée autant qu'il le faudroit pour lui donner toute la vraiſemblance dont elle eſt ſuſceptible; cette digreſſion nous éloigneroit trop de notre objet pré-

sent ; j'aurai occasion de la reprendre & de la suivre plus loin, en parlant des tuyaux capillaires ; j'ajouterai seulement que si cette derniére cause ajoutée aux autres, que nous ne rejettons point, les rend suffisantes pour former & pour élever les vapeurs, elle pourra de même contribuer à les tenir suspendues, jusqu'à ce que l'atmosphére venant à changer de densité, soit par compression, soit par condensation, soit même par dilatation, ces petits corps suspendus se rapprochent, pour former des masses plus pesantes, ou bien qu'ils soient seulement abandonnés à leur propre poids ; comme on voit qu'il arrive dans le récipient d'une machine pneumatique, où l'on apperçoit un petit brouillard après les premiers coups de piston, parce que l'air en se raréfiant abandonne les corps étrangers qu'il contient *.

* *Mem. de l'Ac. des Sc. 1740. p. 252.*

Pour revenir à notre premiére expérience, il est donc certain qu'Aristote & ceux qui l'ont suivi, se sont trompés, lorsqu'ils ont prétendu qu'il y a des corps qui tendent naturellement à se mouvoir de bas en haut,

Ce que nous avons dit touchant les faits qui leur en ont imposé, suffit pour faire entendre qu'il n'y a point de légéreté absolue, & que les corps à qui l'on donne improprement le nom de légers, sont ceux qui ont peu de poids ou de matiére propre sous un grand volume.

On peut considérer dans la pesanteur comme dans toute autre force, la direction, & l'intensité, c'est-à-re, la mesure ou la quantité de son action sur les corps.

La direction de la pesanteur est toujours la même; les corps qui tombent librement se dirigent d'eux-mêmes vers la surface de la terre, par une ligne perpendiculaire à l'horizon, comme il paroît quand on en fait l'épreuve sur une eau dormante; & s'ils décrivent quelquefois en tombant, des lignes obliques ou des courbes, c'est qu'ils y sont forcés par des obstacles; telle est la chûte d'un pendule pendant sa demie-vibration; il ne décriroit pas un arc de cercle, s'il n'étoit retenu par le fil ou la verge qui l'oblige de tourner autour du point de suspension.

Au lieu d'exprimer la direction de la pésanteur, par une perpendiculaire à l'horizon, on l'exprime souvent, par une tendance au centre de la terre, ce qui signifieroit la même chose, si notre globe étoit parfaitement sphérique ; car alors tous les rayons prolongés du même point, seroient autant de perpendiculaires à la surface. Mais cette hypothèse n'est plus ni reçue, ni recevable ; & si le globe terrestre est un sphéroïde applati vers les poles comme il y a tout lieu de le croire, le compas & la régle font voir, que les lignes dirigées perpendiculairement à tous les points de sa surface n'aboutissent pas au vrai centre, mais à différens points qui composent un espace autour du centre. Mais comme cet espace est fort petit, à cause du peu de différence qu'il y a entre la figure attribuée à la terre & celle d'une sphére parfaite ; on peut sans erreur sensible, & quand il ne s'agit point de cette question, garder l'expression commune, & prendre le centre de la terre pour celui des corps graves.

Quant à l'intensité de la pesanteur,

on peut demander 1°. si elle est la même dans tous les corps, dans tous les tems, dans tous les lieux. 2°. Si elle varie suivant l'état des corps. 3°. Si elle peut augmenter dans le même mobile, & comment se font ses progrès.

L'expérience ne peut nous apprendre qu'à peu près, combien un corps parcourt d'espace dans un certain tems, en vertu de la pésanteur qui l'anime, parce qu'il a toujours à vaincre des obstacles inséparables de l'état naturel, comme en éprouvent les corps qui obéissent à toute autre puissance. La résistance des milieux qui varie comme leurs densités, la figure du corps qui tombe, le rapport de sa masse à son volume, & quelque autre considération dont nous parlerons dans la suite, empêchent qu'on ne sçache bien exactement la mesure de la pésanteur primitive, & telle qu'elle seroit, si elle n'étoit diminuée par des causes étrangéres. On sçait seulement qu'à Paris, par exemple, ou aux environs, une balle de plomb, ou tout autre corps qui auroit beaucoup de matiére avec

peu de volume, parcourt dans l'air libre environ 15 pieds de France dans la premiére seconde de sa chûte; on verra bientôt, pourquoi j'embrasse toutes ces circonstances dans cette proposition.

On croyoit autrefois que la pésanteur & le poids étoient synonimes; & que les corps tomboient d'autant plus vîte, qu'ils avoient plus de masse. Il y avoit effectivement quelque vraisemblance à croire qu'un mobile composé de quatre parties pésantes, devoit tendre davantage au terme de la pésanteur, que celui qui n'en auroit qu'une ou deux; & ce qui achevoit d'induire en erreur, c'est qu'on voyoit une plume, un papier, un balson de laine, &c. tomber toujours plus lentement qu'une pierre, un morceau de métal, &c. mais un *plus* ou un *moins* ne décident rien, quand il n'a point de proportion avec la cause que l'on soupçonne. Galilée vit bien comme Aristote, qu'une plume tomboit moins vîte qu'une livre de plomb; mais il mesura ce *moins*, il le compara avec l'excès de masse du corps le plus prompt à tomber, &

il trouva qu'il ne répondoit pas à la différence qu'il y avoit entre les poids des deux mobiles. Il prit donc une autre idée de la péſanteur, & au lieu de penſer comme on avoit fait juſqu'alors, qu'il y en avoit plus dans le plomb que dans la plume, il imagina que cette force étoit égale dans l'une & dans l'autre, mais que la réſiſtance du milieu ſe faiſoit plus ſentir ſur celui des deux corps qui avoit le moins de matiere. Ce raiſonnement étoit bien fondé, & nous en ferons connoître toute la juſteſſe en expliquant l'expérience qui ſuit.

II. EXPERIENCE.

PREPARATION.

On établit ſolidement ſur la platine d'une machine pneumatique, un chaſſis qui contient un tuyau de verre qui a ſix pieds de longueur, deux pouces $\frac{1}{2}$ de diamétre, plus large & ouvert par ſes deux extrémités *A, B Fig.* 2. on joint en-haut par le moyen d'un anneau de cuir mouillé, une platine de cuivre ſous laquelle eſt fixée la chappe d'une piéce qui tourne verti-

calement, & qui se divisant en six rayons, forme autant de pinces à ressort. Cette piéce est représentée seule de face dans la *Fig.* 3. & elle se voit de côté en *C D Fig.* 4. son axe porte un pignon à lanterne qui engréne une roue à chevilles *F*, en-arbrée sur une tige de cuivre bien cylindrique qui traverse la platine & un colet *G* rempli de cuirs gras. Le bout de cette tige est fixé à un rouleau *H* au-dessus duquel est un anneau qui répond à un levier *I*, & ce levier se meut par le moyen d'un cordon; *K* est un barillet garni d'un ressort de montre, pour contretirer le cordon qui envelope & qui fait tourner le rouleau *H*.

Avant que de placer cette piéce sur le tuyau du verre, il faut avoir soin de garnir les six pinces en mettant à chacune deux petits corps dont les volumes soient à peu près semblables, mais qui différent en poids: de sorte cependant que ces différences ne soient pas également grandes dans chaque paire. Ainsi l'on pourra mettre, par exemple, dans la premiére un morceau de plomb & une plume; dans la seconde, un morceau

de cuivre & une petite feuille de papier; dans la troisiéme, un morceau de bois & un morceau de fer, &c.

Lorsqu'on a raréfié l'air dans le tuyau le plus qu'il est possible avec la pompe, en tirant la corde *L*, on fait tourner la roue *F* pour mettre une des pinces dans une situation verticale, comme *D*; on tire ensuite le cordon *M* pour élever la roue *F* dont le bord presse le petit lévier *n*, & fait ouvrir la pince; celle-ci ayant fait son office, on en fait passer une autre de même, & ainsi de suite jusqu'à la derniére.

EFFETS.

Tous ces corps échappant deux à deux, tombent en même tems, & ne laissent appercevoir aucune différence sensible dans la durée de leur chûte.

Mais si l'on recommence l'expérience, en laissant le vaisseau plein d'air dans son état naturel, ceux qui ont le plus de poids tombent plus vîte, & la lenteur des autres est plus sensible à mesure que leur masse est moins grande. Ainsi le bois tombe plus len-

tement que le fer ; mais sa lenteur n'est pas si grande que celle du papier & de la plume.

EXPLICATIONS.

La premiére partie de cette expérience prouve évidemment & directement, que la pésanteur est égale dans tous les corps, & que les différences qu'on apperçoit dans leurs chûtes, ne doivent être attribuées qu'à la résistance des milieux par lesquels ils tombent : puisqu'en supprimant ou en diminuant beaucoup cette résistance, les tems qu'ils employent à descendre de hauteurs égales, sont sensiblement les mêmes. La seconde partie nous apprend, comment nous devons évaluer ces différences que nous remarquons dans la chûte des graves qui différent entre eux par leur quantité de matiére. Car si nous regardons la pésanteur comme une vîtesse commune & égale dans tous les graves, les quantités de mouvement, ou les forces de deux corps qui commencent à tomber, ne peuvent différer entre elles que par la masse. Supposons donc un morceau de plomb

qui péſe 12 onces, & un morceau de bois de même volume & de même figure qui en péſe une : puiſque la viteſſe initiale, ou la péſanteur de ces deux mobiles eſt la même, leurs quantités de mouvement, au premier inſtant de leur chûte, ſeront comme leurs maſſes, c'eſt-à-dire, 1 dans celui-ci, & 12 dans l'autre. Suppoſons maintenant que pendant leurs chûtes, la réſiſtance du milieu rallentiſſe leur mouvement d'un demi-degré ; cette diminution ſera égale dans l'un & dans l'autre, puiſque c'eſt le même milieu, que les volumes ſont égaux & les figures ſemblables, mais le morceau de plomb qui a perdu un demi-dégré de mouvement, en a encore 11 $\frac{1}{2}$, au lieu que le morceau de bois, par une ſemblable perte, ne s'en trouve plus avoir qu'un demi ; dans l'un le mouvement eſt rallenti ſeulement de la douziéme partie, dans l'autre il l'eſt de la moitié, quoique ces deux effets procédent de la même cauſe.

APPLICATIONS.

Le principe que nous venons de

prouver par l'expérience précédente, est d'une grande importance; aussi n'a-t-on rien négligé pour le mettre dans tout son jour. M. Newton l'a confirmé par les vibrations de plusieurs boules suspendues, dont il a mis les diamétres & les poids en différens rapports: nous ferons voir incessamment que cette espéce de mouvement est un effet de la pésanteur; ainsi quand deux boules de même poids, de même grosseur, & suspendues à des fils égaux, continuent de balancer aussi long-tems dans le même air, elles font voir qu'elles sont animées par des pésanteurs égales: & l'on doit persévérer dans le même sentiment, quoique la diminution du poids y apporte une différence, si, comme l'expérience le fait voir, cette différence ne suit pas le rapport des masses.

Messieurs Frenicle & Mariotte éprouvérent d'après Galilée, la chûte directe des corps à de grandes hauteurs; mais personne ne fit ces sortes d'épreuves dans des circonstances plus avantageuses que celles où se prouva M. Desaguilliers * en profi-

* *Transact. Philosoph.* n. 362. art. 4.

tant de la grande élévation du dôme de S. Paul à Londres, & des lumiéres de Messieurs Newton, Halley, &c. qui voulurent être présens.

On fit tomber plusieurs corps de différens poids, & de différens volumes, de la hauteur de 272 pieds; & l'on remarqua que deux boules dont les diamétres étoient d'environ 5 pouces $\frac{1}{2}$, & qui pésoient l'une 2610 grains, & l'autre 137 $\frac{1}{2}$, employerent des tems fort différens à tomber de toute cette hauteur; car la plus pésante acheva sa chûte en 6 secondes $\frac{1}{2}$, & celle de l'autre en dura près de 19: ce qui fait bien voir que la vîtesse des corps qui tombent n'est point proportionnelle à leur masse; car dans cette derniére expérience les deux boules, quant au poids, sont à peu près dans le rapport de 19 à 1; & toutes les autres circonstances sont égales pour l'une & pour l'autre; cependant il s'en faut bien que la plus pésante tombe 19 fois plus vîte que l'autre, car au lieu de 6 secondes, elle n'auroit dû en employer qu'une.

Il est facile d'expliquer maintenant,

pourquoi la même matiére devient plus lente à tomber, à mesure qu'elle se divise ou qu'elle augmente de volume, comme un morceau de bois que l'on réduit en coupeaux minces, un jeu de cartes, ou un paquet de plumes qui n'est pas lié. La chûte d'une grosse pluye est bien différente de celle de la neige; & l'eau qui tombe sans se diviser, fait un effort bien plus considérable que celle qui se réduit en goutes, & qui s'étend dans l'air qu'elle traverse.

Sans cette résistance de l'air, qui retarde & qui divise les corps dont les parties ne sont point fortement liées, on verroit avec autant de danger que d'étonnement une potée d'eau jettée par une fenêtre, tomber sur le pavé, avec autant de bruit & d'effort qu'un glaçon de même poids. S'il y en avoit la valeur d'une pinte, autant vaudroit recevoir sur la tête une pierre du poids de deux livres qui tomberoit de la même hauteur. Mais la surprise ne dureroit pas longtems, pour ceux qui seroient au fait des principes que nous expliquons. Car ils sçauroient qu'une masse liqui-

de qui tombe par quelque milieu matériel que ce ſoit, éprouve une réſiſtance directe en ſa partie inférieure, & un frottement aux ſurfaces latérales: que ces deux ſortes de réſiſtances retardent davantage ce qui eſt expoſé à leur action immédiate que le reſte, & qu'ainſi le mobile dont les parties ne ſont preſque point liées, doit en peu de tems changer de figure & ſe diviſer; mais ces deux derniers effets doivent ceſſer, quand la cauſe qui a coutume de les produire, ne ſubſiſte plus.

Une expérience preſqu'auſſi ancienne que la machine pneumatique, & qui, pour n'avoir pas le mérite de la nouveauté, n'en eſt pas moins curieuſe, prouve admirablement bien ce que nous diſons ici de la chûte des liqueurs.

III. EXPERIENCE.

PREPARATION.

Dans un tube de verre un peu fort, *Fig.* 5. dont le diamétre égale 8 ou 10 lignes, on met quelques pouces d'eau; & après avoir fait le vuide

vuide dans le reſte de la capacité, on le ſcelle à la lampe d'un Emailleur, en *A*.

EFFETS.

Quand on ſecoue ce tube perpendiculairement, l'eau s'éléve toute d'une piéce, à la hauteur de quelques pouces, comme en *B*; & en retombant de même ſur le fond, elle fait le même bruit & le même effort qu'un corps ſolide; & ce ſon eſt beaucoup plus aigu, quand on réſerve une boule creuſe, & mince en la partie ſupérieure, comme on le voit par la figure.

EXPLICATION.

Si dans ce vaiſſeau il y avoit de l'air tel que celui de l'atmoſphére, depuis la ſurface de l'eau *C* juſqu'en *A*, lorſque par la ſecouſſe on éleveroit l'eau de *C* en *B*, la colonne d'air contenue dans cette partie prendroit ſa place pour un inſtant, & l'eau en retombant rencontreroit ce fluide flexible qui retarderoit ſa chûte, & qui après une diviſion réciproque, lui céderoit ſa premiére pla-

ce; mais quand il n'y a que de l'eau dans le tube, & que rien ne la désunit, elle retombe toute ensemble, & la base de cette colonne liquide frappe immédiatement le fond du vaisseau, comme pourroit faire un cylindre solide du même poids.

APPLICATIONS.

Le mercure d'un barométre (si l'instrument est bien fait) se trouve dans le même cas que l'eau de cette derniére expérience; quand on le fait balancer dans le tube, si la secousse est forte, on court risque de casser le verre, & l'on entend toujours le coup, comme celui d'un corps solide, parce que la partie supérieure du tuyau est vuide d'air, & que le mercure heurte immédiatement le fond.

LE tems n'apporte par lui-même aucune différence à la pésanteur des corps; à moins qu'on ne suppose (mais pourquoi le supposeroit-on?) que les changemens qui lui arrivent sont uniformes & proportionnels dans toute la nature: car pour ce qui est des poids comparés, ce qui pése une livre, continue toujours de pé-

ser exactement une livre, tant que la quantité de matiére reste la même. On en peut juger par les pésanteurs spécifiques de matiéres connues; l'or, par exemple, est constamment dans le rapport de 19 $\frac{1}{2}$ à 1 sur l'eau pure. Il est vrai que ces quantités sont sujettes à de petites différences; mais il est plus raisonnable de les attribuer aux différens états des matiéres, au froid, au chaud, à la sécheresse, à l'humidité, &c. que de les rejetter sur une cause inconnue qu'on n'a pas lieu de soupçonner. S'il arrive tous les jours qu'un corps devienne plus ou moins pésant qu'il n'étoit, on doit faire attention qu'il a perdu ou acquis des parties matérielles qui augmentent ou diminuent sa masse. Une éponge, ou quelque corps équivalent, suspendue au bras d'une petite balance, & exposée aux impressions de l'air, devient tantôt plus, tantôt moins pésante; c'est que l'humidité qui régne dans l'air, ajoute à son poids en certain tems, & qu'au contraire elle en sort, quand il fait plus sec. Cette explication est si naturelle & si bien reçue, que bien des personnes em-

ployent ce moyen pour connoître l'humidité ou la sécheresse de l'air. On sçait que le bois flotté est plus léger que le bois neuf, faudroit-il en conclure que la pésanteur varie? n'est-il pas visible que cette diminution de poids vient de ce qu'il a perdu une partie de sa substance? Au moins ne peut-on pas douter que l'eau ne lui ait fait perdre une grande partie de ses sels; car la lessive que l'on fait de sa cendre, en contient peu, & par cette raison elle est moins propre qu'une autre à blanchir le linge.

Si quelques expériences ont paru indiquer des changemens dans le poids d'une même matiére, nous ne devons donc point croire qu'elles puissent prouver, comme quelques personnes l'ont cru, que la pésanteur varie par succession de tems; il nous paroît plus vraisemblable que ceux qui les ont faites, auront été trompés par quelque défaut dans l'exécution, qui aura échappé à leur vigilance. Les poids des pendules, des horloges, des tournebroches, &c. sont des preuves d'expérience qu'on peut leur opposer, & qu'on ne peut révoquer en doute.

Mais si le tems n'apporte aucune variation à la pésanteur des corps, cette force ne change-t-elle pas selon les lieux ?

Lorsqu'on fait attention que le centre des corps graves est celui de la terre, on peut être porté à croire qu'à une distance plus ou moins grande de ce terme, la pésanteur pourroit bien n'être pas la même. Mais quand, pour comparer cette force à elle-même, nous l'avons éprouvée aux plus grandes hauteurs & profondeurs qui nous soient accessibles, & que nous n'y appercevons aucune différence, il semble qu'il soit permis de croire qu'elle est uniforme par tout. Aussi l'a-t-on supposé avant qu'on eût trouvé des raisons pour croire le contraire.

Newton nous assure (& Newton mérite qu'on l'écoute) que cette puissance secréte qui sollicite les corps à tomber vers la terre, agit moins sur eux, quand ils en sont plus éloignés ; il fait plus, il nous donne des régles pour évaluer cette diminution, & comme s'il eût porté la balance jusqu'aux Astres, il veut que l'on croye,

qu'une pierre qui commenceroit à tomber de la Lune, ne feroit pas plus de chemin en une minute, qu'elle en fait ici-bas en une seconde; c'est-à-dire, qu'à une telle hauteur, elle tomberoit 3600 fois plus lentement qu'elle ne fait aux environs de la surface de la terre.

S'il est étonnant que ce Philosophe ait osé prononcer ainsi, sur des choses qui paroissent au-dessus des forces de l'esprit humain, on doit être encore bien plus surpris qu'il ne les ait pas données comme des systêmes, mais qu'il ait appuyé tout ce qu'il a avancé, sur des preuves & sur des démonstrations qui tiennent contre l'examen le plus rigoureux. A la vérité Newton n'a pas démontré que la force centripéte de la Lune soit la même que celle des autres corps qui appartiennent à notre globe; mais il l'a supposé avec tant de vraisemblance, que cela ne peut guéres passer pour une simple conjecture; car sa théorie de la Lune, qu'il fonde sur cette supposition, est celle qui approche le plus de la vérité, & qui donne les lieux de cette planéte les plus conformes

aux obſervations des Aſtronomes.

Comment donc peut-on ſçavoir ce qui ſe paſſe à la Lune pour en parler avec tant de hardieſſe, & pour avoir encore l'avantage de ſe faire croire ?

C'eſt dans les ouvrages même de M. Newton, ou dans des extraits plus amples que ceux que nous pouvons nous permettre ici, qu'il faut étudier ſes penſées & ſes preuves. Ce qu'il a enſeigné touchant la péſanteur des corps, eſt lié avec tout le ſyſtéme général du monde qu'il a plus heureuſement concerté qu'aucun autre Philoſophe; & il eſt aſſez difficile de ſe former une idée bien juſte de cette partie, quand on la ſépare des autres avec leſquelles elle a une connexion néceſſaire. Nous nous contenterons donc de faire ſeulement entrevoir ici, comment il eſt poſſible de juger de la peſanteur des corps à la hauteur de la Lune, par celle qu'ils ont ici-bas; en ſuppoſant que la force centripéte de la Lune n'eſt autre choſe que cette gravité qui fait aller tous les corps qui ſont près de nous, vers le centre de la terre.

Suppoſons que *T*, *Fig.* 6. repré-

ſente la terre, *L* la Lune, *L Q R S*, l'orbite de cet aſtre, c'eſt-à-dire, la révolution qu'elle fait autour de la terre dans l'eſpace de près d'un mois. On connoît aſſez bien la diſtance qu'il y a de la terre à la Lune, c'eſt à-peu-près 60 fois le demi-diamétre du globe terreſtre, voilà des quantités connues depuis long-tems, & ſur leſquelles tout le monde eſt d'accord.

En parlant des forces centrales, dans la leçon précédente, nous avons fait connoître qu'un corps qui circule, ne le fait qu'en conſéquence d'une force qui le pouſſe ou qui le tire toujours vers un même point, pendant qu'une autre force le ſollicite à ſe mouvoir dans une autre direction. Lorſque nous voyons tourner la Lune autour de nous, nous pouvons donc conclure en toute ſûreté qu'elle a une force centripéte, ou, ce qui eſt la même choſe, qu'elle péſe vers la terre.

Nous avons fait voir auſſi en parlant du mouvement composé, que ſi un mobile obéit en même tems à deux puiſſances, comme *L P*, *L C*, on connoît le rapport de ces deux puiſſances

puissances par la diagonale *L Q* que ce corps décrit.

Comme on sçait le tems que la Lune est à parcourir tout son orbite, on connoît aussi celui qu'elle employe pour en décrire une petite portion, comme *L Q*: & par-là on peut juger du chemin qu'elle auroit fait en pareil tems, si elle n'avoit obéi qu'à l'une des deux puissances. Si, par exemple, *L Q* est ce qu'elle parcourt de son orbite en une heure, *L P* représente la quantité dont elle descendroit en une heure, si elle suivoit l'impulsion de la seule pésanteur.

C'est à-peu-près de cette maniére que Newton est venu à bout de connoître qu'un corps grave, en commençant à tomber de la Lune, parcourroit à-peu-près 15 pieds dans l'espace d'une minute; puis comparant cette vîtesse à celle des corps qui obéissent ici-bas à la pésanteur, il la trouva 3600 fois moins grande; car une pierre qui tomberoit librement pendant une minute, parcourroit 3600 fois 15 pieds, ou bien 54000 pieds: d'où il conclut que la pésanteur décroît comme le quarré

de la diſtance augmente ; car 3600 eſt le quarré de 60, & la Lune eſt 60 fois plus éloignée du centre de la terre que les corps qui ſont comme nous à la ſurface.

Si nous pouvions nous élever à des hauteurs aſſez conſidérables, ce ſeroit une choſe bien curieuſe de conſtater cette théorie par quelque expérience ; mais nos plus hautes montagnes ne ſont pas ſuffiſantes, & quand on les ſuppoſeroit de deux lieues perpendiculaires au-deſſus du terrain le plus bas où nous puiſſions deſcendre, on voit par le calcul que le décroiſſement de la péſanteur ſeroit encore inſenſible.

Si une diſtance plus ou moins grande des corps graves au centre de la terre, a pû faire reconnoître quelque variation dans leur péſanteur, la différence des climats devoit-elle faire naître de ſemblables ſoupçons ? Dans un tems ſur-tout où la figure de la terre étoit encore réputée ſphérique, tous les lieux de ſa ſurface ne devoient-ils point paroître indifférens pour cette tendance au centre ?

Dès qu'on a ſuppoſé que la terre ſe

ment en 24 heures autour de son axe, on auroit pû faire attention, que toutes les parties de sa surface ne tournent pas également vîte; celles qui sont sous l'Equateur, décrivant des cercles beaucoup plus grands que celles qui avoisinent les pôles, comme nous l'avons fait voir en expliquant l'expérience du globe de verre dans la leçon précédente *. Cette considération conduisoit naturellement à penser que tous les corps qui sont à la surface de notre globe, participant à son mouvement, ont une force centrifuge; que cette force contraire à la pésanteur doit être plus grande vers l'Equateur que vers les pôles; & qu'ainsi la pésanteur doit diminuer à mesure qu'on est plus près de cette partie de la terre. Mais avant Descartes & M. Hughens il n'étoit guéres question de forces centrifuges; & si Copernic, en proposant son hypothése, l'eût encore chargée de cette nouveauté, il y a bien de l'apparence que dans son tems elle n'eût pas été mieux reçûe que le reste.

* 6. Exper. Fig. 22. & 23.

En 1672. M. Richer étant allé par

ordre du Roi à l'isle de Cayenne, située à-peu-près à 5 degrés de latitude, pour des observations qu'on ne peut faire dans notre climat, fit le premier une découverte plus intéressante sans doute que toutes celles qu'il s'étoit proposées. Il observa qu'un pendule qui battoit les secondes à Paris, mesuroit des tems plus longs dans le pays où il étoit.

Un pendule est un instrument composé d'un corps pésant, comme une balle de plomb, par exemple, qui décrit des arcs autour d'un point fixe, par le moyen d'un fil ou d'une verge mince qui le tient suspendu. Nous ferons voir dans la suite de cette leçon, que son mouvement, que l'on nomme *oscillation*, est un effet de la pésanteur, & qu'il est plus ou moins prompt, selon que le fil de suspension a plus ou moins de longueur.

M. Richer s'étant donc bien assûré que son pendule réglé à Paris pour battre les secondes, retardoit à la Cayenne, y remédia en le raccourcissant d'une quantité dont il tint un compte exact; & cette expérience répétée depuis par plusieurs bons

observateurs, & en dernier lieu par les Académiciens qui sont allés au Perou, & par ceux qui ont fait le voyage du Nord, pour les mesures qui ont rapport à la figure de la terre, a toujours fait connoître que les corps tombent plus lentement vers l'Equateur qu'ailleurs, & que ce retardement diminue, à proportion que la latitude du lieu augmente.

Fondé sur cette connoissance on a compté plus que jamais sur le mouvement journalier de la terre; & comme cette rotation, une fois admise, imprime aux parties du globe des forces centrifuges, qui ne sont point égales dans toute son étendue, on commença à former des doutes sur sa figure qui passoit pour sphérique dans l'opinion commune.

Tant que l'on a considéré la terre comme immobile, il étoit vraisemblable qu'elle fût une sphére parfaite, parce que ses parties n'obéissant qu'à une pésanteur égale, devoient former autour du centre commun de leur gravité, des rayons ou des colomnes de même longueur, pour être en équilibre. Mais si cette

gravité primitive se trouve diminuée par une force contraire, & que cette diminution ne se fasse point en quantités égales dans toute l'étendue du globe, il n'est guéres possible d'accorder l'équilibre de ses parties avec une figure parfaitement sphérique.

Soit *A D B E*, *Fig.* 7. une coupe diamétrale de la terre, au moment de la création, composée de parties également pésantes vers le point *C*, & assez fluides pour s'arranger en conséquence de cette pésanteur; il est certain que tous les rayons *A C*, *D C*, *F C*, &c. pour être en équilibre, doivent être de même longueur, & que toutes leurs extrémités seront rangées dans la circonférence d'un cercle.

Mais si l'on considére la terre comme ayant un mouvement de rotation sur l'axe *A B*, l'équilibre ne peut plus subsister entre des rayons égaux: car alors la force centrifuge détruit une partie de la pésanteur, & cette diminution va toujours en augmentant du pôle à l'Equateur. Car le point *D* décrit en 24 heures un grand cercle, le point *F* dans le même tems par-

court un parallèle dont le diamétre est beaucoup plus petit, & le point *A* ne tourne point. La colomne *CD* pour être aussi pésante que *CA*, doit donc augmenter en longueur, & compenser par plus de matiére ce que sa force centrifuge diminue de sa gravité.

Le mouvement de rotation cause un semblable effet dans les autres parallèles ; mais cet effet va toujours en diminuant jusques aux pôles, par deux raisons ; 1°. parce que la vîtesse du mouvement, & par conséquent la force centrifuge qui en résulte, diminue dans cette proportion ; 2°. parce que cette force, qui est directement contraire à la gravité sous l'Equateur, ne lui est qu'obliquement opposée par-tout ailleurs, comme il est aisé de le remarquer dans la figure ; car, par exemple, à la latitude du point *F*, la pésanteur agit selon la direction *FC*, & la force centrifuge a sa tendance par *FL*.

Il suit donc de tout ceci, que si la terre tourne sur son axe, la pésanteur n'est point égale par-tout ; la matiére qui compose ce globe, pour être en

équilibre avec elle-même, doit s'élever de plus en plus depuis les pôles jusqu'à l'Equateur, comme *HIKG*, d'où il résulte que le diamétre de son équateur est plus grand que son axe *AB*. Ceci devient sensible par l'exemple qui suit.

On emplit de paille d'avoine un sac de cuir de mouton, composé de 12 fuseaux semblables aux imprimés dont on couvre les globes qui représentent le ciel ou la terre; cette espéce de sphére flexible est garnie, à ses deux pôles, de deux morceaux de bois percés qui glissent sur un axe de fer quarré, dont les deux extrémités sont arrondies comme deux pivots, & par le moyen d'une poulie fixée à l'une des deux, comme il paroît par la *Fig.* 8. on imprime à ce globe un mouvement de rotation, par le moyen de la machine avec laquelle nous avons fait tourner le globe de verre, & que nous avons représentée par la *Fig.* 22. de la leçon précédente. Ce mouvement lui fait perdre en peu de tems sa figure sphérique, pour prendre celle d'un sphéroïde qui paroît sensiblement applati par les pô-

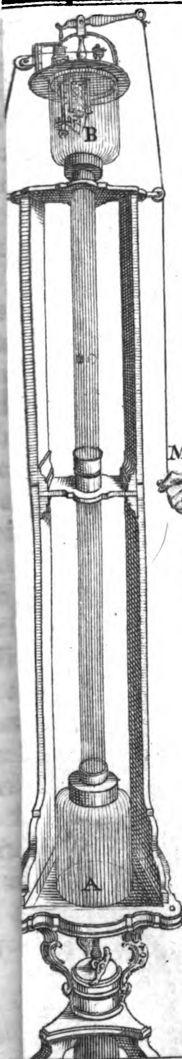
les, & élevé à l'équateur, plus qu'une sphéricité parfaite ne l'exige.

MM. Hughens & Newton, sans avoir recours à de pareilles expériences, qui auroient peu de poids dans une matiére qui exige tant de précision, fondés seulement sur les loix de la statique & des forces centrales, avoient reconnu que la terre devoit être un sphéroïde applati vers les pôles; ils avoient même poussé leurs calculs jusqu'à déterminer, de combien le diamétre de l'Equateur excédoit l'axe en longueur. Mais comme cette décision tenoit à des hypothéses qui y laissoient encore de l'incertitude, le travail de ces deux grands hommes n'eut presque pas d'autre succès, que de fixer l'attention des Sçavans sur cette question, & d'en faire sentir l'importance.

Quand la théorie nous conduit à quelque découverte physique, il semble qu'il soit réservé à l'expérience d'y mettre le dernier sceau; mais quel moyen de faire des expériences sur la figure de la terre? Les plus décisives qu'on puisse faire, c'est de la mesurer actuellement en comparant

les arcs d'un de ses méridiens, comme on a fait depuis.

Quoique l'histoire de ce qui s'est passé à ce sujet, soit des plus curieuses & des plus intéressantes, je m'abstiendrai de la rapporter, parce qu'elle n'est point nécessairement liée avec mon objet présent; elle est beaucoup mieux détaillée que je ne pourrois faire ici à cause des bornes que je me suis prescrites, dans plusieurs ouvrages très-récens, & sur-tout dans celui qui a été écrit exprès par M. de Maupertuis, qui a contribué plus que personne à conduire & à exécuter cette belle entreprise. Je dirai seulement que le voyage que cet illustre Académicien a fait au Nord avec plusieurs de ses confreres, pour mesurer un arc de méridien, qui pût être comparé à ceux qu'on avoit mesurés en France, a déja confirmé la figure que MM. Hughens & Newton avoient attribuée à la terre; & qu'il y a toute apparence que les autres Académiciens, qui sont encore actuellement au Perou, ne nous apprendront rien de contraire, mais seulement de quelle quantité préci-



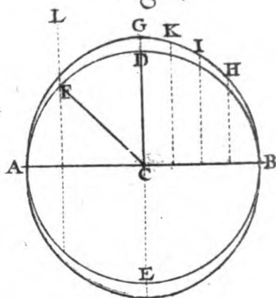


Fig . 7 .

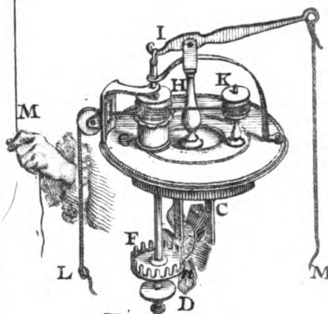


Fig . 4 .

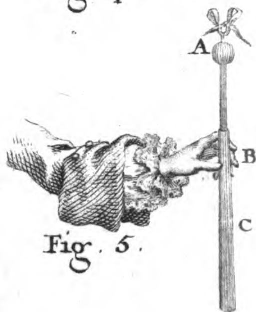


Fig . 5 .

fément notre globe eſt applati vers les pôles.

Une autre queſtion qui ſe préſente maintenant, c'eſt de ſçavoir ſi le poids d'un corps varie ſelon les différens états qu'il peut prendre ; ſi le mouvement, le repos, le froid, le chaud, la ſolidité, la fluidité, &c. peuvent le rendre plus ou moins péſant dans le même lieu ?

On peut répondre en général que le poids ou la péſanteur abſolue d'un corps ne varie point, tant que ſa quantité de matiére eſt la même : une livre de plomb péſe toujours intrinſéquement une livre, ſoit qu'on la tienne fondue ou ſolide, plus ou moins chaude, qu'elle ſe meuve ou non ; car lorſqu'elle a paſſé par tous ces états, ſi elle n'a rien perdu de ſa quantité de matiére, on y retrouve conſtamment le même poids.

Mais ſi l'on conſidére la péſanteur comme la vîteſſe actuelle avec laquelle le corps grave ſe porte de haut-en-bas, il s'en faut bien qu'elle ſoit la même au commencement ou à la fin de la chûte. Quelle que puiſſe être la cauſe de la gravité, il faut

concevoir cette force comme si elle étoit placée dans le mobile même, sur lequel elle agit : à peu près comme le feu qui éléve une fusée, par l'inflammation successive des parties qu'elle contient ; de maniére qu'elle agit sur un corps pendant qu'il tombe, autant & de même à chaque instant, que s'il étoit arrêté ; ainsi, toutes choses égales d'ailleurs, une balle de plomb qui a cédé à sa pésanteur pendant l'espace d'une seconde, a une vîtesse actuelle plus grande, que celle qui ne seroit tombée que pendant une demi-seconde. Rendons ceci sensible par une expérience.

IV. EXPERIENCE.

PREPARATION.

AB, *Fig.* 9. est une caisse plus longue que large, ouverte par-dessus ; & dans laquelle glisse un tiroir rempli de terre molle. *AD*, & *BC*, sont deux colomnes cylindriques de 3 pieds & $\frac{1}{2}$ de hauteur, divisées en pouces, & sur lesquelles on fait glisser une traverse mobile *EF*, qui s'arrête avec des vis, à telle hauteur que

l'on souhaite. Au milieu de cette traverse est un trou, dans lequel on retient une boule d'yvoire d'un pouce de diamétre, par le moyen d'une pince à ressort *G*; la boule *H*, semblable à la précédente, est suspendue par un fil à la moitié de la distance entre la cuvette & la traverse mobile : & le fil de suspension est arrêté de maniére que, quand on lâche la boule *G*, l'autre commence à tomber en même-tems.

EFFETS.

Les deux boules ayant commencé à tomber en même-tems, n'achévent leur chûte que l'une après l'autre, & la boule *H*, qui arrive la premiére sur la terre molle, y fait un enfoncement, qui est beaucoup moindre que celui de la boule *G* qui arrive après.

EXPLICATIONS.

L'enfoncement que chaque boule fait dans la terre molle, est le produit de son effort; cet effet exprime la force actuelle du mobile à la fin de sa chûte; cette force ne peut ve-

nir que de sa masse & de son dégré de vîtesse: mais les masses sont égales; si les forces sont différentes, c'est donc que la boule *G*, en achevant de tomber, avoit plus de vîtesse que la boule *H*.

V. EXPERIENCE.

PREPARATION.

Le tiroir de la machine que nous venons de décrire ci-dessus, ayant été tiré un peu en-avant, afin qu'une nouvelle boule puisse tomber sur un endroit où la terre molle n'ait point été enfoncée; on arrête la traverse mobile à un pied d'élévation au-dessus de la caisse, pour faire tomber une boule de cuivre qui pése 3 onces; ensuite on éléve la traverse à trois pieds, pour faire tomber sur une nouvelle place, une autre boule de cuivre creuse, de même diamétre que la premiére, & qui ne pése qu'une once.

EFFETS.

En comparant les deux enfoncemens, on les trouve parfaitement égaux.

EXPLICATIONS.

Ce que l'expérience précédente n'a fait qu'indiquer en général, celle-ci le démontre avec plus de précision ; car non-seulement elle fait connoître que la vîtesse des corps qui tombent librement, s'augmente par une chûte plus longue, mais elle nous donne la mesure de cet accroissement, en faisant connoître qu'il est proportionnel à la hauteur : c'est ce qui devient évident, quand on fait attention qu'une once de masse a produit le même effet que 3 onces, parce que la hauteur de sa chûte a été 3 fois plus grande.

APPLICATIONS.

Il n'y a pas de paysan qui ne sçache, que la chûte d'une pierre est d'autant plus à craindre qu'elle vient de plus haut, & que les corps fragiles courent plus de risque de se rompre en pareil cas. Ces faits sont trop connus pour mériter qu'on s'y arrête. Nous remarquerons seulement, que comme dans notre expérience une plus grande masse, venant d'une moindre

hauteur, a produit le même effort qu'une moindre masse qui venoit de plus haut ; on peut choisir entre ces deux moyens, lorsqu'il s'agit d'emprunter la puissance d'un mobile qui doit agir par sa chûte : car il est souvent avantageux de pouvoir substituer du poids à une grande élévation.

Il n'est pas douteux, par exemple, que des marteaux employés à force de bras avec une vîtesse suffisante, ne vinssent à bout d'enfoncer des pilotis, de forger des ancres, de battre le fer des mines dans les forges où on les prépare en grand, &c. mais il en coûte bien moins de dépense en faisant tomber d'une hauteur médiocre des masses très-pésantes, dont le mouvement est animé & réglé le plus souvent par la force de l'eau, ou par celle du vent.

Nous venons de voir en général que la chûte des corps s'accélére dans tous les instans ; voyons maintenant par des expériences quelle est la progression de cet accroissement de vîtesse.

VI. EXPERIENCE,

VI. EXPERIENCE.

Preparation.

A B & *C D*, *Fig.* 10. sont deux cordes de métal ou de boyaux d'environ 12 pieds de longueur, fortement & parallélement tendues à quelques pouces de distance l'une de l'autre, & faisant avec l'horizon un angle d'environ 22 dégrés $\frac{1}{2}$; *G* est un mobile qui glisse fort librement par le moyen de deux petits rouleaux sur la corde *A B*, & son centre de pésanteur est plus bas que la corde, afin que la pointe qui est à sa partie supérieure garde toujours la même situation; *H* est un pendule un peu pésant qui se meut sur deux pivots *A*, *a*, & dont la verge excéde un peu vers *f*. La longueur du pendule doit être telle qu'il fasse justement une vibration, pendant que le mobile *G* parcourt la neuviéme partie de la corde *A B*; pour s'en assurer il faut avoir une petite régle de bois, qui serve à mesurer la corde en neuf parties égales; & placer vis-à-vis la premiére de ces parties, & sur la corde *C D* un petit timbre *K*, dont le por-

tant glisse & s'arrête avec une vis, à telle distance que l'on veut. Il doit aussi avoir un petit marteau, que le mobile *G* détende en passant. D'une autre part le pendule *H* fait sonner de même un autre timbre *I* dont le ton est différent; & la queue de la verge qui excéde en *f*, fait lâcher en passant un petit fil de soie qui retient le mobile *G*; de sorte que quand tout est bien ajusté, le mobile *G* ne part, que quand le pendule fait sonner son timbre *I* pour la premiére fois; & l'autre timbre *K* ne sonne son premier coup, que quand le pendule fait entendre le second coup du sien: ainsi entre le premier & le second coup du timbre, il s'écoule un tems dont on a la mesure, & pareillement pendant ce tems le mobile parcourt un espace connu. On recule ensuite le timbre *K* jusqu'à ce que l'espace parcouru par le mobile *G* soit fixé par le deuxiéme tems: c'est-à-dire, jusqu'à ce que le troisiéme coup du timbre *I* s'accorde avec celui du timbre *K* que l'on a reculé, & ainsi de suite. Et en mesurant les espaces parcourus, on les compare avec les tems.

EFFETS.

Pendant la premiére vibration du pendule, le mobile *G* parcourt la neuviéme partie de la corde; s'il continue de se mouvoir de suite pendant le second tems, il parcourt trois fois autant d'espace, & dans le troisiéme, cinq fois, de sorte que sa vîtesse est accélérée, puisque dans des tems égaux il mesure des espaces qui vont en augmentant, & le progrès de cette accélération suit les nombres impairs 1, 3, 5, 7, 9, &c. ce qui fait dire que les espaces parcourus, à commencer du premier instant de la chûte, répondent au quarré des tems: car à la fin du second tems on trouve pour le nombre des espaces, 4 qui est le quarré de 2; & à la fin du troisiéme, 9 qui est le quarré de 3.

EXPLICATION.

Si la pésanteur étoit une force externe ou comme telle, c'est-à-dire, que son action sur le mobile qu'elle anime, fût semblable à un coup de marteau qui produit dans le premier choc tout ce qu'il peut faire; la vî-

tesse du corps grave seroit toujours égale & uniforme (abstraction faite des obstacles étrangers.) Car pourquoi changeroit-elle, si rien ne la diminuoit, & si la puissance qui l'a fait naître, ne continuoit d'agir ? Mais la pésanteur, comme nous l'avons déja dit, est une force qui suit le mobile, & qui répéte sur lui ses impulsions à chaque instant. La vîtesse d'un corps qui tombe, n'est donc pas seulement celle qu'il avoit en commençant à descendre, mais la somme de celles qu'il a acquises, pendant tout le tems de sa chûte.

Quand le mobile *G* de notre expérience parcourt l'espace *A* 1, c'est la pésanteur qui le fait descendre ; par conséquent si l'on subdivise le tems qu'il employe pour faire ce chemin, on doit concevoir qu'à chaque instant il a reçu une nouvelle vîtesse, & que quand il est arrivé au chifre 1, sa vîtesse actuelle est plus grande que lorsqu'il est parti du point *A*.

Pour sçavoir précisément ce que vaut cette augmentation, supposons que la ligne *A B*, *Figure* 11. représente ce premier tems divisé en 6

instans égaux ; & exprimons les petits espaces parcourus pendant ces instans, par autant de lignes perpendiculaires à *A B*. Si dans le premier instant, la pésanteur fait parcourir au mobile un espace égal à *c c*, celui qu'il parcourra pendant l'instant suivant *d d*, sera double, parce que l'impulsion du second instant, se joignant à celle du premier qui subsiste toujours, doublera la vîtesse, & ainsi de suite : l'inspection seule de la figure suffit, pour faire comprendre, que les vîtesses acquises sont comme le nombre des instans.

Imaginons maintenant qu'au commencement du second tems exprimé par *B C* égale à *A B*, la pésanteur cesse d'agir sur le mobile, il continuera de descendre sans accélération, en parcourant autant d'espaces semblables à *B D* qu'il y a dans *B C* de parties égales à celles du premier tems *A B*. Mais la somme de ces lignes est double de celles du premier tems, comme il est facile de le voir en partageant le quarré *B D C E* en deux triangles ; il est donc démontré, que le mobile, en vertu des vîtesses

acquiſes pendant le premier tems ; eſt en état de parcourir un eſpace double de celui qu'il a parcouru. Ainſi quand le mobile *G* de notre expérience eſt parvenu à la fin du premier eſpace, quand bien même il n'acquerroit plus de nouvelles vîteſſes, pendant la ſeconde vibration du pendule, il s'avanceroit jusqu'au chifre 3.

Mais ſi la péſanteur continue d'agir, elle doit produire pendant le ſecond tems autant d'effet que pendant le premier. Si l'on ajoute donc ſur le côté *D E* qui repréſente un tems égal à *A B*, des lignes dont le nombre & la longueur ſoient ſemblables aux premiéres *c c*, *d d*, &c. on aura, pour les eſpaces parcourus dans le ſecond tems, les trois triangles *B C D*, *C D E*, & *D E F*, dont la ſomme égale trois fois *A B D*.

De même quand le mobile *G* part du point 1, il eſt en état de parcourir dans le ſecond tems deux eſpaces, en vertu des vîteſſes acquiſes pendant le premier tems, & un troiſiéme, en conſéquence de la nouvelle impulſion qu'il reçoit à chaque tems,

& de cette maniére il parvient au chifre 4.

La même chose se passe pour tous les autres tems; & pour peu qu'on y fasse attention, on voit que le quatriéme, neuviéme, seiziéme espaces parcourus, répondent au deuxiéme, troisiéme, quatriéme tems, & que les quantités qui appartiennent à chaque tems, prises séparément, sont entr'elles comme les chifres 1, 3, 5, 7, &c.

Il suit de-là qu'un corps qui est tombé d'une certaine hauteur, se trouve avoir à la fin de sa chûte, un degré de vîtesse, tel qu'il lui faudroit pour remonter aussi haut, si quelque cause changeoit sa direction. Et s'il remonte en effet avec sa vîtesse acquise, son mouvement est retardé en montant, comme il a été accéléré en descendant.

Car supposons, par exemple, que le corps *A*, *Fig.* 12. soit arrivé en *B* par une vîtesse accélérée, c'est-à-dire, en parcourant dans le premier tems l'espace 1, & dans le second, l'espace 2, trois fois plus grand; s'il remontoit en vertu de la vîtesse actuelle qu'il a,

& que la péſanteur ceſſât d'agir ſur lui, il remonteroit dans le premier tems de *B* en *A*.

Mais ſi la péſanteur vient à retarder ce mouvement, elle agira ſur le mobile qui monte, comme ſur celui qui deſcend ; elle lui donnera de haut en bas, une tendance capable de le faire deſcendre de la quatriéme partie de *A B*. Ainſi au lieu de remonter juſqu'en *A*, il n'arrivera que en *C* ; & dans le tems ſuivant, la même tendance qu'elle continue de lui donner, étant trois fois plus grande, il ne fera en montant que la troiſiéme partie de ce qu'il a fait dans le premier tems ; il arrivera donc en *A* en deux tems : & les eſpaces qu'il parcourra ſeront 3 & 1. D'où l'on voit, que la vîteſſe d'un corps qui remonte, eſt retardée par la péſanteur ſelon la progreſſion des nombres impairs 1, 3, 5, 7, &c.

APPLICATIONS.

Ce que nous venons d'enſeigner par l'expérience précédente, touchant l'accélération des corps graves, & touchant les loix de cette accélération,

célération, se trouve exactement vrai dans la spéculation : dans la pratique même, les différences ne sont point sensibles quand on n'examine que des chûtes peu considérables, telles que celles que nous avons employées. Mais si l'on applique cette théorie aux effets naturels, lorsqu'il s'agit de grandes hauteurs, elle n'a pas lieu dans toute son étendue à cause de la résistance des milieux ou des autres obstacles qui peuvent retarder la vîtesse des corps qui tombent. Nous en avons déja donné des preuves par la seconde expérience, & nous en avons cité d'autres qui ont été faites en grand, tant en Italie qu'en France & en Angleterre. En 4 secondes $\frac{1}{4}$ (*a*) une boule de plomb tombe de la hauteur de 272 pieds ; * selon la loi de l'accélération que nous venons d'établir, en

* *Transf. Philos. n. 562. Art. 4.*

(*a*) Dans le texte des Transactions on lit 4 secondes $\frac{1}{2}$: j'en ôte $\frac{1}{4}$ de seconde, parce que l'on comptoit l'instant de la chûte par le coup que l'on entendoit d'un lieu élevé de 272 pieds, & nous ferons voir ailleurs que le bruit ou le son employe environ $\frac{1}{4}$ de seconde pour faire ce trajet.

comptant 16 pieds (*b*) de chûte pour la premiére seconde, & sans avoir égard à aucune résistance étrangére, ce mobile devroit en parcourir 289; c'est donc 17 pieds que la résistance de l'air retranche en pareil cas, du produit de son accélération.

Cette diminution seroit encore plus considérable, si la boule au lieu d'être de plomb étoit de bois, ou de quelque matiére encore plus légére. Car nous avons déja fait voir que la résistance du milieu retarde d'autant plus le mouvement des corps, qu'ils ont plus de volume & moins de masse; & l'on voit aussi par les expériences de M. Desaguilliers que nous avons déja citées, qu'une boule de carton de 5 pouces de diamétre, employa 6 secondes $\frac{1}{2}$ pour tomber d'aussi haut que la boule de plomb, au lieu qu'une chûte de cette durée au-

(*b*) J'ai dit ci-dessus qu'un corps grave tombe d'environ 15 pieds pendant la premiére seconde de sa chûte libre: mais l'expérience dont il s'agit ici, ayant été faite à Londres, on doit compter sur 16 pieds; parce que 15 pieds de France équivalent à peu près à 16 pieds d'Angleterre.

roit dû produire 676 pieds, c'est-à-dire, 404 de plus qu'elle n'a fait.

La chûte des corps ne différe des autres mouvemens que par sa direction; la résistance des milieux s'y fait donc appercevoir de même; c'est-à-dire, qu'il faut avoir égard non seulement au volume du mobile relativement à son poids, mais encore à son degré de vîtesse, & à la densité du fluide dans lequel il fait sa chûte. Car il faut plus de force ou de tems pour déplacer de l'eau, que de l'air en pareille quantité. Il arrive de-là que quand un corps a acquis par son accélération un certain degré de vîtesse qui le met en équilibre avec le milieu résistant, il continue de s'y mouvoir uniformément.

Les corps qui tombent arrivent plutôt ou plus tard à ce mouvement uniforme, selon la densité des milieux qu'ils traversent, ou selon qu'ils ont plus ou moins de volume avec la même masse. C'est pourquoi si l'on jette par une fenêtre des corps de différens poids, comme des fragmens de papier, de bois, de pierre, on peut remarquer que les premiers après avoir

accéléré dans l'espace de 12 ou 15 pieds, tombent ensuite d'un mouvement sensiblement égal; la grêle tombe plus vîte que la pluye, & la pluye plus vîte que la neige par la même raison. Sans ces retardemens l'eau du Ciel qui fertilise la terre, & dont la nature dispose selon nos besoins, désoleroit continuellement nos campagnes & nos habitations; & la plus petite grêle, par l'extrême vîtesse de sa chûte, seroit un fardeau à craindre pour nos têtes.

Ce que la résistance des milieux retranche de l'accélération de la pésanteur dans les corps qui descendent, elle l'ajoûte à son retardement dans les corps qui se meuvent de bas en haut. Ainsi le corps *B*, *Fig.* 12. qui, en vertu de sa vîtesse acquise, pourroit remonter jusqu'au point *A* d'où il est descendu, s'arrêtera plus bas à cause du milieu qui lui résiste, & qui détruit une partie de son mouvement. Quand on laisse tomber une balle d'yvoire sur un marbre, ces duex corps fussent-ils d'une élasticité parfaite, il ne faudroit pas s'attendre que la balle remontât jusqu'au lieu de

fon départ ; l'expérience eſt tout-à-fait d'accord avec cette théorie.

II. SECTION.

Des Phénomenes où le mouvement eſt compoſé de la péſanteur & de quelque autre puiſſance.

SI l'on ſe rappelle ici ce que nous avons dit du mouvement composé, on n'aura plus que des applications à faire des principes généraux que nous avons établis ; car la péſanteur eſt une puiſſance dont la direction & l'intenſité ſont connues par ce que nous venons d'enſeigner. Si l'on connoît les autres forces qui contribuent avec elle au mouvement d'un corps, les différens effets qui peuvent en réſulter feront toujours conformes aux loix du mouvement compoſé, que nous avons établies dans la Leçon précédente. Parcourons les cas les plus généraux & les plus intéreſſans.

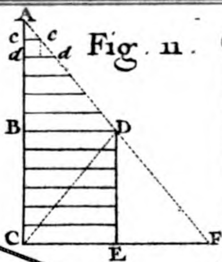
Quand un corps n'obéit pas pleinement à ſa péſanteur, tant pour la

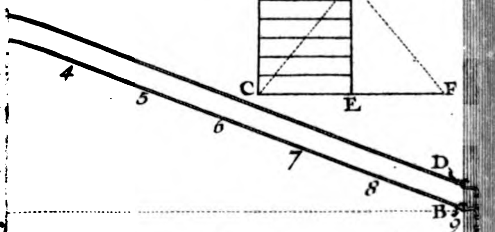
direction que pour l'intensité, c'est qu'il est retenu par quelque obstacle, ou sollicité par quelque force active qui agit directement ou indirectement contre cette premiére puissance.

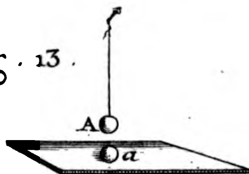
Si l'obstacle est directement opposé à la pésanteur, & qu'il soit invincible, comme le fil qui suspend la boule *A*, *Fig*. 13. ou bien le plan horizontal qui l'empêche de passer outre, c'est un mobile qui se trouve entre deux puissances égales, opposées dans la même ligne, sçavoir l'action de sa gravité, & la réaction du point fixe auquel il est suspendu, ou du plan sur lequel il repose; & nous avons dit qu'en pareil cas, le mobile reste en repos. Ou bien si l'obstacle peut céder à la pésanteur, c'est le cas de deux forces dont l'une obéit suivant l'avantage que l'autre a sur elle; le mouvement demeure simple, mais seulement retardé, comme il arrive quand les corps graves tombent par des milieux résistans.

Les corps graves à qui les obstacles ne cédent qu'insensiblement comme le poids d'une horloge, d'un tour-

10.

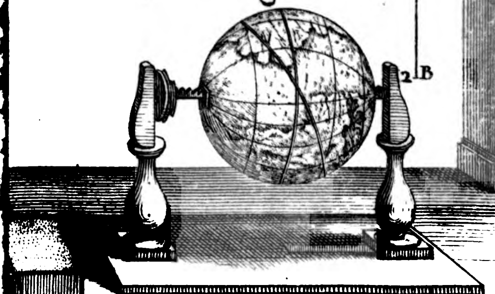








F



nébroche, &c. ne laissent appercevoir aucune accélération dans leur chûte, parce que dans ces sortes de machines le mouvement est modéré par des moyens qui à chaque instant ramènent le mobile à sa vîtesse initiale, c'est-à-dire, à ce degré de vîtesse infiniment petit, avec lequel il commenceroit à tomber, s'il étoit libre.

Pour concevoir comment un corps peut tomber long-tems, & de suite, sans accélérer son mouvement, qu'on se représente une boule qui tombe par un escalier dont les marches sont un peu larges, & de maniére qu'en tombant de la premiére sur la seconde, elle n'acquiert que la vîtesse nécessaire pour gagner le bord en roulant, & pour tomber sur la troisiéme, & ainsi des autres; il est évident qu'à la centiéme marche sa chûte sera semblable à celle qu'elle a faite à la premiére, parce que comme on le suppose, chaque fois qu'elle a roulé horizontalement, elle a perdu la vîtesse qu'elle avoit acquise par la chûte précédente. Il arrive à peu près la même chose, quoique moins sensiblement, au poids d'une pendule; quand une

dent du rochet échappe aux paletes, la fusée tourne un peu, la corde file d'autant, & le poids fait une petite chûte que les yeux n'apperçoivent pas, à cause de son peu de durée, mais qui est pourtant plus prompte à la fin qu'au commencement; la résistance qu'éprouve la dent suivante jusqu'à ce qu'elle échappe, consume bien-tôt cette petite augmentation de vîtesse, & la seconde chûte se fait comme la premiére, c'est-à-dire, comme si le mobile partoit du repos.

Si quelque chose oblige un corps grave à descendre par une ligne oblique à l'horizon, ou c'est un obstacle dont la réaction se proportionne aux efforts de la pésanteur, comme un plan incliné, ou un fil qui tient le mobile suspendu; ou bien c'est une force active qui a sa mesure déterminée, comme l'effort du bras qui jette une pierre, ou celui de la poudre enflammée qui fait partir une balle de mousquet. Examinons en détail ces deux cas dans les Articles suivans.

ARTICLE PREMIER.

De la chûte des corps par des plans inclinés.

Le plan incliné dont il eſt ici queſtion, eſt celui qui n'eſt ni vertical comme *ap*, *Fig.* 14. ni horizontal comme *p C*, mais qui comme la ligne *a C*, forme un triangle avec les deux premiéres lignes.

Le plan incliné l'eſt d'autant moins qu'il s'éléve davantage au-deſſus du plan horizontal; ou, ce qui revient au même, que la ligne *ap* eſt plus longue par rapport à *p C*. Ainſi le plan *a C*, eſt plus incliné que *a D*.

Quand un mobile deſcend par un plan incliné, c'eſt la même choſe qu'il ſoit ſoutenu par un plan ſolide dont l'inclinaiſon ſoit conſtante, ou qu'il ſoit toujours proportionnellement tiré par une puiſſance dont la direction faſſe à tous les inſtans un angle ſemblable avec celle de la péſanteur, comme *F A* ou *f a*.

Un corps grave qui eſt obligé de deſcendre ainſi par une ligne oblique à l'horizon, doit être conſidéré com-

me obéissant à deux forces dont les directions sont différentes, & son mouvement doit se composer selon les loix que nous avons établies dans la Leçon précédente : les effets que nous avons à examiner ici, n'en sont que des applications & des exemples.

Supposons donc que *A P* représente la pésanteur, c'est-à-dire, l'espace que parcourroit le mobile *A* dans le premier tems de sa chûte, s'il tomboit librement ; & que *A F* soit une autre puissance qui le tire en avant & obliquement : en formant sur ces deux premiers côtés le parallélogramme *P A F a*, comme nous l'avons enseigné, la petite diagonale *A a* donnera & la direction & la quantité du mouvement composé. Ainsi l'on voit qu'à la fin du premier tems le mobile sera en *a*, c'est-à-dire, beaucoup moins bas qu'il ne seroit, s'il n'avoit suivi que l'impulsion de sa pésanteur.

Si l'on veut sçavoir quel sera le produit du second tems, il faut représenter les deux puissances par des lignes trois fois plus longues ; car la pésanteur qui auroit fait tomber le

mobile par *A P* dans le premier tems, lui auroit fait parcourir *a p* trois fois plus long dans un pareil tems pris de ſuite.

Cette augmentation de puiſſances, ſi leurs directions ne changent point de rapport, donnera pour le ſecond tems la diagonale *a b*, trois fois plus longue que *A a*; & dans le même alignement : & ſi l'on continue la même opération, on aura enfin par la ſuite de ces diagonales le plan incliné *A C*.

Si l'on change la direction de la puiſſance qui fait obſtacle à la péſanteur, & qu'elle devienne comme *c a* ou *d a*, le parallélogramme change, & par conſéquent la diagonale qui exprime le mouvement composé. Le mobile au lieu de deſcendre par *a b*, tombera par *a g* ou *a h*, de ſorte que ſi ce changement de direction alloit juſqu'à faire agir l'obſtacle perpendiculairement au penchant de la péſanteur comme *e a*, alors la chûte du mobile ne ſeroit nullement retardée, au lieu qu'elle le ſeroit totalement ſi la réſiſtance ſe faiſoit dans un ſens directement contraire com-

me *i a*, ce qui n'a pas besoin d'être expliqué.

De ces principes il suit, 1°. qu'un corps ne tombe jamais aussi vîte par un plan incliné, que par la ligne verticale, qui est sa direction naturelle. Car au lieu de parcourir *A P* dans le premier tems, on voit qu'il ne descend que de la quantité *A k*; & aucun des points *b g h* n'est aussi bas que *p*.

2°. Que plus le plan est incliné à l'horizon, plus la chûte est retardée: car en descendant par le plan *a C*, le mobile ne parcourt que la ligne *a b*, dans le tems qu'il parcourroit la ligne *a g*, s'il descendoit par le plan *a D* moins incliné; & si le plan étoit tout-à-fait horizontal, il auroit beau se mouvoir, sa chûte seroit absolument nulle.

3°. Que la pésanteur, quoique retardée, accélére la chûte des corps suivant les mêmes loix & les mêmes proportions, que la pésanteur qui agit seule & avec liberté. Car on voit que la ligne *a b*, produit du second tems, est trois fois plus grande que *A a*, produit du premier. Cette diffé-

rence eſt ſemblable à celle des lignes *A P* & *a p* qui expriment des chûtes libres.

4°. Que l'on peut comparer la vîteſſe d'un mobile qui deſcend par un plan incliné, à celle du même corps, qui tomberoit librement par la ligne verticale, ou les degrés de vîteſſe de deux corps qui parcourent des plans différemment inclinés, puiſqu'on ſçait la quantité de la chûte pour chaque inſtant pris de ſuite, comme *A a*, *a b*, ſur un plan dont on connoît l'inclinaiſon, & la différence de ces quantités ſur différens plans, comme *a b*, *a g*, en tems égaux. Ainſi en prenant pour terme de comparaiſon le tems que le mobile mettroit à tomber perpendiculairement de la hauteur du plan *a p*, on trouve que la durée de ſa chûte par le plan incliné eſt plus longue de la même quantité dont le plan *a C* ou *a D*, excéde en longueur la ligne *a p*. Rendons ceci ſenſible par une expérience.



PREMIERE EXPÈRIENCE.

Preparation.

Il faut diſpoſer les cordes de la *Figure* 10. de maniére qu'elles forment un plan incliné *A B* qui ait deux fois autant de longueur que de hauteur, & ajuſter le pendule de maniére qu'il faſſe une vibration pendant qu'une balle d'yvoire tombe de la hauteur *A P*. Si le mobile *G* part en même tems que cette balle,

Effets.

Il n'arrivera au bout du plan incliné qu'à la fin du ſecond tems ; c'eſt-à-dire, que la durée de ſa chûte eſt à celle de la balle d'yvoire, comme la longueur du plan incliné qu'il parcourt, eſt à ſa hauteur.

* *Fig.* 14. Si l'on conçoit *ap*, * hauteur du plan incliné comme le diamétre d'un cercle, & que l'on prenne cette ligne pour le produit de la chûte perpendiculaire dans un tems donné, la demie circonférence de ce cercle paſſera par l'extrémité de toutes les chûtes obliques *b*, *g*, *h* ; cette méthode

une fois connue, eſt plus ſimple pour ſçavoir tout d'un coup le rapport de la chûte oblique *ML*, *MN*, &c. *Fig.* 15. avec la chûte perpendiculaire *MP*. C'eſt une âbbréviation de la régle que nous avons donnée d'abord, & elle ſuffit, quand on connoît l'inclinaiſon du plan.

Il ſuit de-là cette propoſition générale : *Qu'un corps employe pour deſcendre obliquement par la corde quelconque d'un cercle, autant de tems qu'il lui en faudroit pour tomber par le diamétre entier de ce même cercle poſé verticalement.*

Cela eſt démontré pour les cordes qui partent du point *M*, *Fig.* 15. par ce qui a été dit touchant *ab*, *ag*, * &c. & la même preuve vaut pour *OP*, *QP* & ſemblables, puiſqu'étant paralléles à *ML*, *MN*, &c. elles leur ſont égales en longueur & en inclinaiſon : une expérience rendra cette démonſtration plus facile à ſaiſir. *Fig. 14.

II. EXPERIENCE.

PREPARATION.

La machine qui eſt repréſentée par

la *Figure* 16. eſt un grand cercle, dont le diamétre qui a environ 3 pieds $\frac{1}{2}$, eſt terminé par deux trous qui reçoivent ſucceſſivement une alidade *B C* creuſée en forme de goutiere, & qui tournant ſur le point *A* & ſur le point *B* alternativement, peut meſurer toutes les cordes du cercle. Il faut avoir deux balles de cuivre ou de plomb qui ayent environ 6 lignes de diamétre, dont l'une ſe place en *A*, ſous une petite pince à reſſort *D*, qui ne la laiſſe tomber que quand on tire le fil de la détente. Quand on veut diſpoſer l'autre balle, pour deſcendre par une corde qui tende au point *B*, on y place le centre de l'alidade, & l'on met la balle ſous une pince ſemblable à la premiére, retenue par une bride qui gliſſe & qui s'arrête où l'on veut par le moyen d'une vis *E*. Cette même bride porte par derriére une eſpéce de cocq qui embraſſe la circonférence du grand cercle, & qui ſert à fixer l'alidade à tel degré d'inclinaiſon que l'on ſouhaite. Lorſqu'on veut faire deſcendre la ſeconde balle par une corde venant du point *A*, il faut y placer l'alidade, & une balle

balle dans la goutiére précisément au centre du mouvement, de maniére qu'on l'apperçoive par le trou *A*. On met dans cet œil un petit cylindre de bois qui s'y meut avec liberté, & sur lequel on pose l'autre balle que l'on retient avec la pince à ressort, & alors la même pression fixe les deux balles à cause de l'interposition du petit cylindre. Un curseur qui glisse sur l'alidade, termine la goutiére à l'endroit où finit la corde que l'on mesure.

Effets.

L'alidade étant placée comme *B C*, dès qu'on tire le fil qui tient aux deux détentes, les deux balles tombent en même-tems, & se rencontrent en *B*; & cet effet ne varie point, quoique la corde du cercle devienne plus longue ou plus courte, par le changement d'inclinaison de l'alidade; de même si l'alidade est placée en *A*, les deux balles arrivent en même-tems l'une en *B*, l'autre en *F*, à quelque distance que *F* soit du point *A* dans la circonférence du cercle,

ce qui s'apperçoit, parce que la balle qui frappe l'obstacle qui est dans la goutiére, & celle qui touche le point *B*, ne font entendre qu'un même coup.

EXPLICATIONS.

Ce que nous avons dit ci-dessus, nous dispenseroit d'expliquer cette expérience, si l'on s'est donné la peine de suivre les démonstrations; mais si l'on se contente de sçavoir en général, pourquoi en pareil cas un mobile met autant de tems à faire un court chemin qu'un plus long, (ce qui semble un paradoxe,) il faut faire attention qu'un corps grave en tombant, ne fait jamais plus de chemin que quand il descend perpendiculairement à l'horizon; qu'il n'en fait au contraire jamais moins que lorsqu'il est sur un plan presqu'horizontal; puisque si l'alidade étoit disposée comme *Be*, ou *Af*, la balle ne descendroit point du tout: & qu'ainsi les lignes décrites par sa chûte dans un tems fixe, doivent être d'autant plus courtes qu'elles sont plus inclinées à l'horizon, ou (ce qui est la même

chose) qu'elles s'écartent plus de la direction verticale.

APPLICATIONS.

Puisque le plan incliné est toujours plus long que le plan vertical à hauteur égale, il est aisé de voir qu'un escalier, une rampe douce, une échelle dressée obliquement, ne ménent point à une certaine élévation, par la route la plus courte. Cependant tous les jours on choisit ces moyens par préférence à ceux qui pourroient faire gagner du tems. Quand il s'agit, par exemple, d'arriver en voiture à quelque endroit fort élevé, ou de faire monter de grands fardeaux, comme des tonneaux de vin qu'on tire d'une cave, ou des blocs de marbre que l'on méne du bateau sur le port, &c. c'est presque toujours par des plans inclinés, qui exigent plus de tems qu'une ascension plus directe. Il y a donc une raison qui détermine à perdre du tems; car naturellement les moyens les plus prompts sont ceux que l'on aime le mieux. Oui, sans doute; si le plan incliné retarde la vitesse des corps qui

descendent, il faut moins d'effort pour arrêter leur chûte ; & quand ils sont ainsi soutenus, leur poids est toujours plus facile à vaincre, soit qu'on veuille les tenir en repos, soit qu'on se propose de les transporter de bas en haut. Quand on choisit de pareils plans pour élever les corps, ou pour rallentir leur chûte, le tems qu'on employe de plus, est donc moins une perte, qu'un échange de la vîtesse en force ; la liberté de choisir entre l'une & l'autre est d'un grand avantage dans les méchaniques. Nous pourrions examiner ici quel rapport il y a entre la vîtesse que l'on perd, & la quantité de force qu'on est dispensé d'employer sur un mobile, quand on le fait descendre ou monter par un plan incliné ; mais c'est une question qui trouvera naturellement sa place, lorsque nous traiterons des machines qui servent à employer le mouvement.

Si la vîtesse actuelle d'un corps qui descend par un plan incliné, est toujours moindre que celle du même corps qui tomberoit perpendiculairement, il est vrai de dire qu'à cha-

que point de sa chûte oblique, la vîtesse acquise est égale à celle qu'il auroit, s'il étoit tombé perpendiculairement d'une hauteur semblable : toute la différence qu'il y a, c'est qu'il lui faut plus de tems pour acquérir cette vîtesse par un mouvement oblique, que par un mouvement direct à l'horizon.

Quand le mobile *A*, *Fig.* 17. est en *a*, il a donc la même vîtesse qu'il auroit s'il étoit tombé directement d'*A* en *a*, ou d'*M* en 1 ; quand il est en *b*, comme s'il venoit de *B*, par une ligne qui est égale à *M* 2 ; & à la fin de la chûte par *A a*, *a b*, *b* 3, la somme de ses vîtesses acquises est égale à celle que lui auroit procurée une chûte verticale par *M* 3, ce qui vient de ce que la hauteur verticale de cette derniére chûte est égale à celle des trois premiéres prises ensemble, & que l'accélération par le plan incliné est proportionnelle à celle d'une chûte verticale & libre.

Or nous avons dit que la chûte accélérée donne au mobile une force capable de le faire remonter aussi haut que le lieu d'où il est descendu ;

& comme cette accélération ſuit les mêmes loix dans la chûte oblique, comme dans la chûte perpendiculaire à l'horizon, cette propoſition que nous n'avons fait qu'énoncer, ſera prouvée ſi nous faiſons voir par des expériences qu'un corps remonte autant qu'il a deſcendu, dans quelque direction que ſe faſſent ſa chûte & ſon aſcenſion. Mais afin de tout prouver en même-tems, il faut dire un mot de la deſcente des corps graves par les courbes.

Nous avons déja dit ailleurs qu'une ligne courbe doit être conſidérée comme un aſſemblage de petites lignes droites contiguës, & inclinées les unes aux autres ; on peut donc regarder auſſi le mobile qui deſcend, ou qui remonte par une courbe, comme parcourant pluſieurs petits plans inclinés entre eux ; & en appliquant ſucceſſivement à toutes ces parties diverſement inclinées, tout ce que nous avons dit d'un ſeul plan dont l'inclinaiſon ſeroit uniforme, il ſera aiſé d'appercevoir la cauſe des variations que les différentes courbures font naître, dans le mouvement des

corps graves, soit de haut en bas, soit de bas en haut.

Pour bien entendre ceci, supposez que le quart de cercle *AED*, *Fig.* 18. soit composé de 4 lignes droites: le mobile en les parcourant sera soutenu sur des plans d'autant plus inclinés, qu'il approchera plus du terme de sa chûte *D*, & il est évident, après tout ce que nous avons dit ci-dessus, que si l'effet de la pésanteur étoit uniforme, il mettroit beaucoup moins de tems à parcourir la partie *AB*, que *EC*, ou *CD*, parce que cette premiére ligne s'écarte bien moins que les autres de la direction verticale. Mais à cause de l'accélération, si le mobile se trouve de *C* en *D*, sur un plan plus incliné, il a aussi plus de vîtesses acquises; & comme cette vîtesse actuelle du mobile au point *C*, dépend des vîtesses particuliéres que l'inclinaison des autres parties lui a permis de prendre, il y a telle courbe où ces premiéres parties plus approchantes de la direction verticale, rendent le commencement de la chûte plus prompt, & la chûte entiére d'une moindre durée:

telle eſt, par exemple, la ligne *FGH*, *Fig.* 19. que l'on nomme *cycloïde*, courbe fameuſe en Géométrie par le grand nombre & l'importance de ſes propriétés, & en méchanique par l'uſage que M. Hughens en fit, lorſqu'il appliqua les vibrations du pendule aux horloges.

Un mobile ne tombe donc pas auſſi vîte par un arc de cercle, que par un arc de cycloïde de même hauteur, * parce que le commencement de la courbure dans la premiére de ces deux lignes, s'écarte davantage de la direction verticale que dans l'autre : & que les retardemens cauſés ſur la fin par l'inclinaiſon du plan, ne ſont pas ſuffiſamment compenſés par les vîteſſes précédemment acquiſes. C'eſt par cette raiſon qu'on explique un effet qui paroît encore plus ſingulier ; c'eſt que la chûte qui ſe fait par la corde qui meſure l'arc du cercle comme *HI*, quoique plus courte, eſt cependant moins prompte ; ce qui eſt contraire au préjugé où l'on eſt, que le chemin le plus court eſt toujours celui qui demande le moins de tems.

* *Fig.* 19.

Il eſt tems maintenant de prouver que les corps remontent à la même hauteur d'où ils ſont deſcendus, quelque direction qu'ils ayent eue en tombant, & par quelque eſpéce de ligne qu'on les conduiſe en remontant.

III. EXPERIENCE.

PREPARATION.

Au centre du grand cercle de la machine que nous avons employée dans l'expérience précédente, on attache un pendule fait d'un fil de ſoie & d'une balle de plomb qui peut avoir 7 ou 8 lignes de diamétre, & l'on calle le pied avec les vis, de maniére que le fil du pendule en repos ſoit paralléle à la ligne *AB*. Il faut avoir 2 aiguilles de fer qui ſe fixent perpendiculairement au plan du cercle, l'une aux points *c* & *d*, *Fig.* 20. & l'autre aux points *e*, *f*, *g*, ſucceſſivement.

EFFETS.

Quand on laiſſe tomber le pendule librement du point *b*, s'il ne rencontre point d'obſtacles ſur la ligne *ab*,

il s'éléve jusqu'en *g* ; s'il rencontre une aiguille au point *c*, il remonte en *f*, & si l'aiguille est placée en *d*, il remonte en *e* ; on juge aisément de l'endroit où il s'éléve en plaçant en *e*, *f*. & *g* une aiguille de fer qu'il va toucher.

EXPLICATIONS.

La balle du pendule étant tombée de *h* en *b*, & ne rencontrant point d'obstacle, employe la vîtesse qu'elle a acquise par son accélération, dans un arc de cercle, qui a le même centre que celui qu'elle vient de décrire ; l'aiguille qui se trouve ensuite au point *c* ou *d*, devient un nouveau point fixe, autour duquel elle employe ce qu'elle a de mouvement ; & au lieu de décrire l'arc *b g*, elle remonte par *b f* ou *b e*, selon la longueur du rayon qui lui reste, après la rencontre de l'aiguille ; mais quoiqu'elle remonte par des arcs fort différens, il est facile de voir qu'elle arrive toujours à la même hauteur, car *d e f g* sont dans la même ligne.

Cette expérience prouveroit trop, si le centre de la balle s'élevoit exac-

tement jusques dans la ligne *d g*, parceque la résistance de l'air, & quelques petits frottemens inévitables, lui font perdre un peu de sa vîtesse; aussi doit-on faire attention que quand elle touche l'aiguille placée au point *e*, *f* ou *g*, il s'en faut de tout son demi-diamétre que son centre ne soit arrivé à cette hauteur.

APPLICATIONS.

Cette expérience nous conduit naturellement à dire quelque chose de cette espéce de mouvement qu'on nomme *oscillation*. Le fréquent usage qu'on en fait dans les horloges, & la liaison qu'il a avec la Physique, par les moyens qu'on employe pour l'exécuter, exigent que nous fassions connoître ce qu'il importe le plus d'en sçavoir; mais nous devons nous borner à ce qui peut être soumis à l'expérience, & nous renvoyons pour ce qui est purement Mathématique, aux sçavans ouvrages de Galilée, de MM. Hughens, de Mairan, &c. & aux extraits qu'on en a faits.

On appelle *oscillation* ou *vibration de pendule*, le mouvement d'une bal-

le de plomb, ou de quelque autre corps équivalent, attachée par un fil, ou par une verge, à un point fixe, autour duquel elle décrit un arc, comme dans l'expérience que nous venons d'expliquer.

On distingue deux sortes de pendules; le simple & le composé.

Le pendule simple seroit celui dont le fil de suspension n'auroit aucune pésanteur, & dont la balle ne péseroit que par un seul point, comme si, par exemple, toute sa gravité résidoit au centre.

Le pendule composé, est celui qui pése par plusieurs points de sa longueur, comme si, par exemple, la même verge de suspension portoit deux boules, l'une au-dessus de l'autre. Quand il n'y auroit qu'une balle à la même verge, si cette verge a un poids considérable, ou que la boule soit grande, (ce qui est le cas le plus ordinaire dans la pratique), ce pendule alors doit être regardé comme composé, quoiqu'il soit d'usage de le nommer simple. Ce que nous allons dire d'abord touchant la théorie du pendule, doit s'entendre

du plus ſimple, c'eſt-à-dire, de celui dont toute la peſanteur réſideroit au point *h*, *Fig*. 20.

Ce point de gravité qui décrit les arcs, ſe nomme *centre d'oſcillation*, & le point *a*, autour duquel il ſe meut, s'appelle *centre de mouvement*.

Quand la boule du pendule eſt amenée de *b* en *h*, & qu'on la laiſſe libre, ſa péſanteur qui la ſollicite à deſcendre, & le fil qui la retient toujours à égale diſtance du point *a*, lui font décrire l'arc *h b*; mais un corps qui deſcend ainſi par un, ou par pluſieurs plans inclinés, acquiert la même vîteſſe qu'il auroit, s'il étoit deſcendu perpendiculairement de la hauteur *d b* du plan; il continue donc ſon mouvement en remontant en *g*, c'eſt-à-dire, à une hauteur égale à celle d'où il eſt parti. Alors ayant conſumé toute ſa vîteſſe, il ne peut point paſſer outre; il ne peut pas non plus reſter en repos, parce que ſa péſanteur exige qu'il deſcende; & comme il eſt dans le même cas où il étoit au point *h*, il doit retourner de *g* en *b*, & de *b* en *h*, & ainſi de ſuite pour les autres vibrations: d'où l'on

voit que rien n'approche plus du mouvement perpétuel qu'un pendule, puisque sans la résistance du milieu, les oscillations seroient toujours égales, la boule ayant toujours en *b* des vîtesses suffisantes pour remonter à la hauteur, dont il faut qu'elle descende pour en reprendre de pareilles.

Ceci se prouve fort bien avec la machine que nous avons décrite dans la *Fig.* 17. de la quatriéme leçon, en employant un fil très-fin & une balle de plomb de 7 ou 8 lignes de diamétre; car en s'y prenant ainsi, on réduit la résistance de l'air à très-peu de chose, & toutes les vibrations se partagent en deux arcs sensiblement égaux, à l'endroit le plus bas de la chûte.

Nous avons fait voir précédemment, que le tems de la chûte par la corde d'un cercle, est égal à la durée de celle qui se fait par le diamétre du même cercle posé verticalement: nous avons remarqué aussi qu'un mobile qui descend par un arc de cercle, achéve sa chûte plutôt que s'il tomboit par la corde de cet

arc ; parce que quoique cette ligne droite soit plus courte que la courbe correspondante, celle-ci beaucoup moins inclinée qu'elle à l'horizon dans sa partie la plus élevée, procure au mobile une vîtesse initiale ; & de-là une accélération, qui fait plus que compenser l'excès de cette étendue. Mais comme la chûte par la corde est plus prompte quand le diamétre du cercle auquel elle répond est moins grand, parce que cette corde elle-même est plus courte à pareils degrés d'inclinaison ; de même aussi la chûte par l'arc doit durer moins quand cet arc fait partie d'une plus petite circonférence ; car s'il est semblable à celui d'un plus grand cercle par le nombre de ses dégrés, il a moins d'étendue que lui, comme on le peut voir, en comparant *b c* à *D H*, *Fig.* 19. & s'il a la même étendue, alors sa partie supérieure *a b*, est moins inclinée à l'horizon ; par l'une ou par l'autre de ces deux raisons, le mobile qui le parcourt doit achever la chûte en moins de tems. La derniére de ces deux causes surtout a tant de force, & contribue

tellement à accélérer la chûte du mobile que dans la même circonférence de cercle, les grandes vibrations ne durent presque pas davantage que les plus petites.

En voilà assez pour faire sentir qu'il y a une certaine proportion entre la durée d'une demie-vibration (je veux dire la chûte de *D* en *H*,) & la longueur du pendule ou du rayon qui conduit le mobile dans cet arc. Et en effet, la longueur du pendule étant donnée, on sçait combien doit durer sa demie-vibration, & sa vibration entière; car lorsque le mobile *b*, est à la fin de sa chûte au point 3. *Fig.* 17. sa vîtesse acquise le fait remonter en *c*, dans un tems égal à celui qu'il a employé pour descendre; ainsi la vibration totale se fait en deux tems parfaitement égaux; & c'est connoître le tout que d'en connoître la moitié.

Cette proportion est telle que si l'on fait tomber un corps grave verticalement d'une hauteur qui égale deux fois la longueur du pendule, & que celui-ci décrive un petit arc de cercle, la durée de la demie-vibra-

tion eſt à celle de la chûte verticale, comme le quart de la circonférence d'un cercle eſt à ſon diamétre, c'eſt-à-dire un peu moindre, & dans le rapport de 11 à 14 à-peu-près.

Et ſi de deux pendules, l'un doit faire des vibrations qui durent 2 fois, 3 fois, ou 4 fois plus que celles de l'autre, il faut que ſa longueur ſoit pour cet effet 4, 9, ou 16 fois plus grande que la ſienne; ainſi l'on doit dire que les longueurs des pendules ſont comme les quarrés des tems qu'ils meſurent, car 16 eſt le quarré de 4, 9 celui de 3, & 4 celui de 2.

IV. EXPERIENCE.

PREPARATION.

On ôte l'alidade de la machine que nous avons repréſentée par la *Figure* 16. & l'on y laiſſe le pendule comme dans l'expérience précédente; on retient la balle à une petite hauteur, comme au point *G*, par le moyen d'une pince à reſſort qui ſe fixe à la circonférence du cercle; on retient de même une autre balle ſemblable en *A*, & l'on ajuſte les déten-

tes de façon qu'en tirant le même fil, on fasse ouvrir en même-tems les deux pinces.

La fléche *D* qui est tronquée dans la figure, doit être assez longue pour y mesurer trois longueurs égales à *A B*, au-dessus du point *A*, pour y placer la pince & la balle.

EFFETS.

1°. Quand on fait ouvrir les deux pinces, la balle *A*, & celle du pendule *G* partent en même-tems, & celle-ci passe au point *B* un peu avant l'autre.

2°. Si l'on transporte la pince & la balle au bout de la fléche, de maniére qu'elle soit 4 fois aussi élevée que le diamétre *A B*; en répétant ainsi l'expérience, la vibration entiére s'achéve sensiblement plutôt que la chûte verticale de la balle *A*; ce qui s'observe aisément, en faisant frapper le pendule contre quelque obstacle sonore que l'on met au terme de la vibration.

3°. Si l'on fait osciller deux pendules de même longueur, comme *G*, *M*, & que leurs arcs soient égaux;

s'ils partent en même-tems, ils se rencontrent toujours ensemble vis-à-vis de *B*.

4°. Si les arcs qu'ils décrivent sont inégaux, après un certain nombre de vibrations, celui qui a parcouru les plus petits, précéde l'autre.

5°. Enfin, si les pendules sont de différentes longueurs, quand bien même ils partiroient ensemble, le plus court fait des vibrations qui durent moins que celles de l'autre; & si le rapport des longueurs est comme 1 à 4, le plus long ne fait qu'une vibration contre deux.

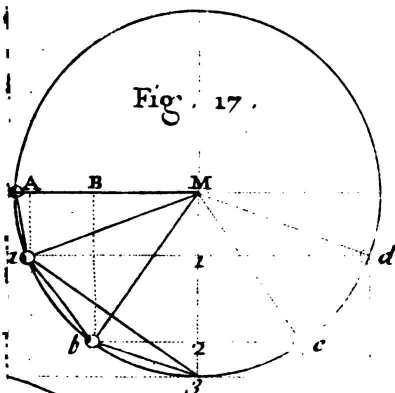
EXPLICATIONS.

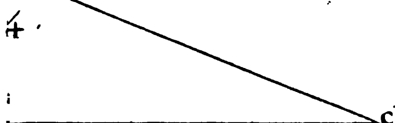
Ces expériences, & les moyens qu'on employe pour les exécuter, sont expliqués par tout ce que nous avons dit ci-dessus; & les résultats dont il est aisé de faire l'application, prouvent évidemment les principes que nous avons établis en dernier lieu.

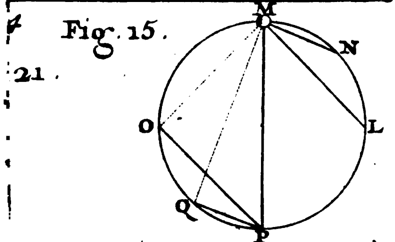
Le premier, par exemple, fait voir, contre l'opinion de plusieurs Auteurs, que la chûte, par un petit arc de cercle, dure moins de tems

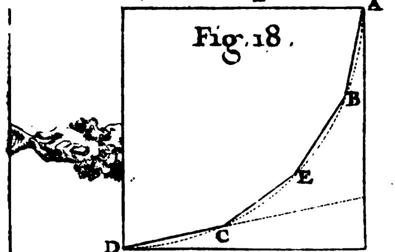
que la descente par la corde correspondante, car on voit qu'elle dure moins que par le diamétre ; & nous avons montré précédemment, que par le diamétre, ou par la corde quelconque, le tems de la chûte est égal.

Le second résultat confirme encore cette doctrine, & fait voir que le premier effet n'est point un accident qu'on doive au hazard ; car si la demie-vibration duroit autant qu'une chûte verticale par le diamétre ; pendant une vibration entiére, il faudroit que le mobile pût tomber d'une hauteur, égale à 4 fois ce même diamétre ; puisqu'une vibration se fait en deux tems égaux, & que l'effet de la pésanteur est toujours trois fois aussi grand dans le second tems que dans le premier : cependant lorsqu'on fait tomber la balle d'une hauteur quadruple de la premiére, la différence entre le tems de sa chûte, & la durée de la vibration, est encore plus grande & plus sensible : il est donc important, même dans la pratique, de ne point confondre, pour la durée, la chûte par la corde avec celle qui se


Fig . 17 .
A
B
M
1
1
d
b
2
c
3


4
C


Fig. 15 .
21
M
N
O
L
Q
P


Fig. 18 .
A
B
E
C
D

fait par un petit arc, puiſque celle-ci dure notablement plus que la deſcente par le diamétre, qui ſe fait, comme on ſçait, en même-tems que par la corde.

Il feroit à ſouhaiter qu'on pût repréſenter aux yeux, par ces mêmes expériences, le véritable rapport qu'il y a entre la durée de la chûte verticale par la longueur ſimple ou doublée du pendule, & le tems de la demie-vibration; mais le procédé méchanique n'eſt guéres ſuſceptible de cette préciſion, & nos ſens auroient peine à la ſaiſir; je ne diſſimulerai pas même, que dans tout ce qui regarde le mouvement des corps en général, pluſieurs des expériences qu'on employe ſont moins des preuves qui aſſûrent la théorie, que des repréſentations qui en facilitent l'intelligence, & qui ne doivent être ni utiles ni agréables à ceux qui ſont aſſez initiés dans les Mathématiques, pour s'éclairer tout d'un coup par la démonſtration.

APPLICATIONS.

On ſçait de quelle importance eſt

la mesure du tems, non-seulement dans la vie civile, pour mettre de l'ordre dans nos actions & régler les devoirs de la société; mais encore dans la plûpart des Sciences, surtout dans l'Astronomie & dans la Physique, où la durée des effets est assez souvent le principal objet de notre étude, & le moyen le plus propre à nous donner une juste idée de la cause. Le pendule, comme il paroît par ce que nous venons de prouver, est un instrument qui peut mieux que tous ceux qui sont connus d'ailleurs, mesurer des parties de tems fort égales entr'elles, & nous en faire connoître la quantité par la durée & par le nombre de ses oscillations: on ne peut trop applaudir à ceux qui en ont fait la découverte, ou d'heureuses applications.

Galilée n'eut pas plutôt trouvé les propriétés du pendule, qu'il sentit l'avantage qu'on en pourroit tirer; l'usage qu'il en fit lui-même pour régler ses observations & ses expériences, lui valut une exactitude & une précision, qu'il auroit eu bien de la peine à se procurer autrement, &

le dédommagea en quelque ſorte du travail pénible que cette invention avoit pû lui coûter.

Mais le pendule, tel qu'il l'employoit, ne pouvoit meſurer qu'une quantité de tems peu conſidérable, parce que la réſiſtance de l'air diminuoit peu-à-peu l'étendue des oſcillations, & les faiſoit enfin ceſſer, ſi quelqu'un n'avoit ſoin de ranimer le mouvement. De plus il falloit avoir l'attention de les compter l'une après l'autre, pour en avoir la ſomme; & cette ſujétion rendoit cette nouvelle meſure du tems impraticable en bien des occaſions, de ſorte que le pendule n'étoit encore qu'un inſtrument de Philoſophe, dont ne pouvoit profiter le commun des hommes, qui préfére toujours la facilité à l'exactitude, quand l'une & l'autre ne vont point enſemble.

M. Hughens, en 1657, fit une application du pendule, dont tout le monde peut profiter; il le joignit aux horloges pour régler leur mouvement, & cette ingénieuſe addition a eu tant de ſuccès, & a été ſi généralement reçue, que les horloges

de chambre en ont pris le nom de *pendules*.

Pour être en état d'entendre comment un pendule rend une horloge plus exacte, il faut sçavoir que ces sortes d'instrumens sont animés par un ressort, ou par un poids qui met en mouvement un certain nombre de roues, par le moyen desquelles les aiguilles parcourent les graduations du cadran : si ce mouvement n'étoit point retenu par un modérateur, il seroit trop précipité, & l'aiguille qui marque les heures, ne pourroit jamais aller assez lentement, pour ne faire que deux tours en 24 heures.

Mais si le modérateur est sujet à des inégalités, soit qu'il les cause lui-même, soit qu'il se laisse maîtriser par celles du rouage, ou du ressort qui l'anime, le mouvement sera inégalement modéré, & l'aiguille ne mesurera pas en tems égaux des parties égales du cadran, il y aura des heures qui paroîtront plus longues ou plus courtes qu'elles ne doivent être.

C'est à ce modérateur imparfait jusqu'alors, que l'on a substitué le pendule, & voici comment.

Comme

Comme toutes les roues s'engrennent réciproquement, & qu'elles ne peuvent ni se mouvoir, ni s'arrêter l'une sans l'autre, si l'une de ces roues va réguliérement, le mouvement commun de toutes les autres sera régulier. Une d'entr'elles qu'on nomme *rochet*, ou *roue de rencontre*, ne peut tourner que quand une certaine piéce, qui porte deux palettes, ou quelque chose d'équivalent, se léve pour laisser passer une de ses dents. Si du passage d'une dent à l'autre il se passe toujours des tems égaux, & que la roue soit exactement divisée, il est évident que le mouvement de cette roue, & celui de toutes les autres ausquelles elle communique, sera parfaitement uniforme. C'est donc à cette piéce d'*échappement* qu'on a adapté le pendule, afin que ses vibrations, dont la durée est toujours égale, rectifiassent les petites irrégularités qui peuvent venir du rouage, ou de l'action du ressort.

Nous avons dit que les oscillations qui se font par les arcs du même cercle, ne sont point d'une durée parfaitement égale, quand ces arcs sont

plus grands les uns que les autres : quoique cette différence soit fort petite, & qu'on puisse la négliger, quand il ne s'agit que d'un tems peu considérable, cependant après un grand nombre d'oscillations, ces petites quantités multipliées feroient une somme sensible, & cette source d'erreur n'a point échappé à M. Hughens. Il prévit bien qu'avec le tems le rouage d'une horloge se saliroit, que les huiles s'épaissiroient, que les frottemens pourroient s'augmenter, en un mot que le mouvement pourroit se rallentir, & que le pendule réglé d'abord pour faire des oscillations d'une certaine grandeur, les feroit plus courtes dans la suite. C'est ce qui le porta à chercher une courbe d'oscillation, dans laquelle il fût absolument indifférent que le pendule mesurât de grands ou de petits arcs. Le succès de ses recherches, ausquelles plusieurs Sçavans prirent part, fut aussi heureux que leur objet étoit curieux & intéressant pour la Géométrie ; il trouva que la cycloïde avoit la propriété qu'il cherchoit, & il la substitua au cercle, en mettant au centre

du mouvement du pendule une portion de cette courbe, autour de laquelle le fil qui suspendoit la verge pouvoit s'envelopper. Mais, comme nous l'avons fait voir par la *Fig.* 19. le cercle & la cycloïde se confondent en la partie inférieure; les oscillations se font aussi exactement dans le cercle, si elles ont peu d'étendue; & c'est le parti que l'on a pris depuis dans l'Horlogerie, pour éviter une certaine flexibilité qu'il falloit donner à la verge en sa partie supérieure, pour obéir à la portion de cycloïde qui devoit déterminer la nature de son mouvement.

Mais si la Géométrie a fourni des moyens pour rendre les vibrations toujours égales en durée, par la nature ou par la quantité de la courbe dans laquelle elles se font, des causes physiques les dérangent souvent, par les changemens qu'elles apportent à la longueur du pendule.

Comme il faut que le pendule maîtrise la piéce principale qui sert à l'échappement, on ne peut pas suspendre la boule, ou la lentille qui fait les vibrations, avec un fil mince &

flexible ; on se sert ordinairement d'une verge d'acier, qui a environ une demi-ligne d'épaisseur, & 3 ou 4 lignes de large. Ces deux dimensions, & sa longueur sur-tout, ne sont constantes que dans une température parfaitement égale ; car du plus grand froid au plus grand chaud, un tel pendule devient sensiblement plus ou moins long, par la dilatation ou par la condensation du métal, comme nous le ferons voir en parlant des effets du feu. Les oscillations, par cette seule cause, seront donc plus lentes en Eté qu'en Hyver ; la même horloge avancera & retardera suivant les différentes saisons, ou les différens états de l'air dans lequel elle est.

Le soupçon d'un pareil effet suspendit le jugement des Physiciens, sur l'observation de M. Richer à la Cayenne ; plusieurs crurent que le retardement du pendule qu'il attribuoit à la pésanteur plus diminuée par la force centrifuge vers l'Equateur, qu'en France, n'étoit qu'un effet de la chaleur du climat qui avoit allongé le pendule, ou diminué la densité du milieu. Mais les expérien-

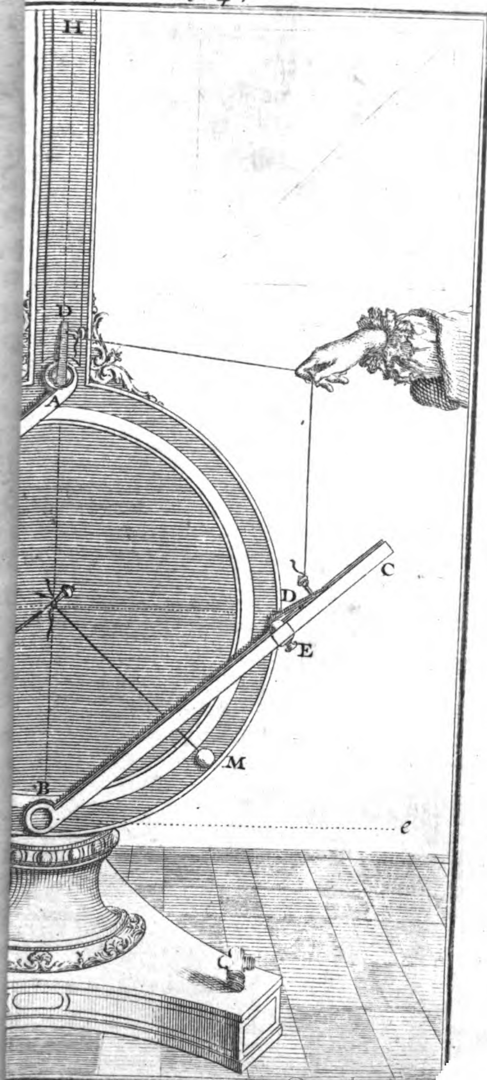
ces qui ont été faites depuis avec beaucoup de soin par plusieurs personnes fort intelligentes, & sur-tout par les Académiciens qui sont allés par ordre du Roi tant au Cercle polaire qu'à l'Equateur, pour les mesures qui doivent constater la figure de la terre; ces expériences, dis-je, font connoître évidemment que ce n'est point la température du climat, mais sa position, qui a obligé M. Richer à raccourcir son pendule, parce que l'état de l'air à la Cayenne n'est point assez différent de la température que nous avons à Paris, eu égard à la correction qu'on est obligé de faire au pendule. Car, selon M. de Mairan * dont on connoît la sagacité & l'exactitude, le pendule le plus simple qu'on puisse exécuter, c'est-à-dire, une boule de métal d'un pouce de diamétre suspendue par un fil de pite, doit avoir, pour battre des secondes à Paris, 3 pieds 8 lignes & $\frac{17}{30}$ de ligne, à compter du centre d'oscillation jusqu'à celui du mouvement; & par toutes les expériences qui ont été faites en différens tems, & par diverses personnes, il

* *Mém. de l'Acad. des Sc. 1735. p. 203.*

résulte constamment, qu'un tel pendule seroit de plus de deux lignes trop long pour battre les secondes dans les climats voisins de l'Equateur; différence trop grande pour pouvoir être attribuée à la température du lieu; car l'expérience * fait voir qu'une chaleur égale à celle de l'eau bouillante, n'allonge que d'un tiers de ligne une verge de fer de 3 pieds 8 lignes $\frac{1}{2}$, telle qu'on l'employe pour le pendule.

* *Mém. de l'Acad. des Sc. 1735. p. 214.*

Pour procurer au pendule toute la perfection qu'il mérite, les Physiciens ont imaginé d'opposer à elle-même la cause qui en fait varier la longueur: la dilatation, en allongeant la verge, fait descendre trop bas le centre d'oscillation; ce dérangement n'en sera plus un, si quelque autre piéce dilatée par la même chaleur & en même-tems, agit en sens contraire, & en telle proportion, que l'allongement de la verge n'ait pas son effet; on a imaginé pour cela plusieurs moyens qui ont assez bien réussi. M. Julien le Roi qui joint aux talens d'un excellent Artiste, les connoissances physiques, & les vûes qui


H
D
A
C
D
E
M
B
e

tendent à la perfection de l'horlogerie, en a proposé & exécuté un dont le succès est assuré par une expérience de plusieurs années. Et en dernier lieu M. de Cassini donna à l'Académie le projet d'un autre qui fut fort applaudi, parce qu'il peut s'employer plus commodément que la plûpart de ceux qui sont connus jusqu'à présent, & que d'ailleurs il ne promet pas moins d'exactitude. Mais comme le mal & le remède dont il est ici question, ont leur source commune dans la dilatation plus ou moins grande des métaux, nous remettons ce que nous avons à en dire à la Leçon qui traite du feu, & des effets de la chaleur sur les corps.

ARTICLE II.

Du mouvement des corps causé par la pésanteur & par une force active & uniforme.

CETTE force que nous supposons agir avec la pésanteur sur le même mobile, se nomme ordinairement *force projectile*; tel est l'effort du bras qui jette une pierre, ou celui

de la poudre qui chasse une bombe.

Ce mouvement une fois déterminé par le moteur, continueroit uniformément, si la résistance des milieux, les frottemens, &c. n'y mettoient obstacle; quoique cela soit inévitable dans l'état naturel, nous en ferons cependant abstraction, parce qu'il est plus simple & plus facile de faire connoître ce qui seroit, si ces obstacles n'y étoient pas, que de dire exactement ce qui est, lorsqu'ils y sont.

* Fig. 21.

Quand un coup de raquette * ou quelque autre impulsion détermine une balle à s'élever de bas en haut perpendiculairement à l'horizon, elle lui imprime une force directement opposée à la pésanteur, le mouvement du mobile sera donc l'effet de la force projectile, moins celui de la pésanteur; c'est-à-dire, que si la premiére est capable de produire une ascension de 60 pieds par seconde, comme l'autre opére une chûte de 15 pieds en pareil tems, l'élévation de la balle sera bornée à 45 pieds pour la premiére seconde. Dans la seconde suivante, la pésanteur ayant trois

trois fois plus d'effet que dans la premiére, causera un rabais de 45 pieds sur les 60 que la balle auroit fait en vertu de la force projectile qui agit uniformément ; ainsi elle ne s'élevera que de 15 pieds, après quoi elle cessera de monter, parce qu'alors la pésanteur a de l'avantage sur la force projectile ; celle-ci ne donne jamais qu'une vîtesse de 60 pieds par seconde au mobile ; celle-là au troisiéme tems lui donne une vîtesse de 5 fois 15, c'est-à-dire, de 75 pieds en sens contraire. Il arrive donc en pareil cas, ce que nous avons fait voir * qu'il arriveroit à un corps qui remonteroit en vertu des vîtesses acquises par sa chûte accélérée.

* I. Sect. six. exp. Fig. 12.

Dirigeons maintenant la force projectile horizontalement ; & en la supposant toujours uniforme, partageons son effet total *FG*, *Fig.* 22. en quatre parties égales, qui représentent autant d'instans semblables. Si le mobile *F*, pendant le premier tems, descend de la quantité 1 *a* en vertu de sa pésanteur, pendant le tems suivant, la même cause agissant trois fois plus le fera tomber de la

quantité *bc*, qui jointe au produit de la premiére chûte, donnera 2*c*; en ajoutant de même à cette derniére quantité 3*d*, l'effet du troisiéme tems *de*, & à cette somme 3*e*, le produit du quatriéme tems *fg*, on aura une suite de points *Faceg*, qui formeront une espéce de courbe que les Géométres nomment *parabole*.

Hors la perpendiculaire à l'horizon, dans quelque direction que l'on mette la force projectile, pourvû qu'elle soit uniforme, si la pésanteur agit en même-tems sur le mobile, le mouvement composé de ces deux forces se fait toujours sensiblement dans cette courbe; il n'y a de différence que pour l'*amplitude* qui est plus ou moins grande, comme *Hg* ou *Hi*.

En supposant, par exemple, que le mobile *M*, *Fig.* 23. tende directement au point *P* par une force projectile, si l'on retranche de cette force, pendant une suite d'instans égaux, autant de parties qui expriment les effets de la pésanteur, en augmentant entr'elles comme le quarré des tems; c'est-à-dire, qu'après

le second tems elle ait perdu 4 fois plus qu'après le premier, à la fin du troisiéme 9 fois davantage, &c. l'extrémité de toutes ces lignes qui expriment les retardemens causés à la force projectile par la pésanteur, donnera la courbe *M r q*; c'est-à-dire, deux demi-paraboles semblables à celle de la *Figure* 22. qui se joignent au sommet *r*.

Avant que de mettre ceci en expérience, il est à propos d'avertir qu'on ne doit pas s'attendre à des effets parfaitement conformes à la théorie; les Géométres énoncent les choses avec exactitude, parce qu'ils n'ont qu'à supposer les élémens qui doivent entrer dans leurs calculs; mais quand il faut que la Physique s'en mêle, il y a presque toujours à rabattre, parce que l'on a le plus souvent supposé trop ou trop peu; la force projectile & la pésanteur ne peuvent produire ensemble un mouvement vraiement parabolique, que quand elles ne souffrent aucune altération; quand, par exemple, la premiére est toujours uniformément égale dans tous les instans, & que la seconde est tou-

jours exactement accélérée, selon la progression que nous avons établie; & cela n'est point dans l'état naturel, parce que la résistance de l'air retarde l'une & l'autre, & les retarde irréguliérement.

Il y auroit bien encore quelque chose à dire en faisant attention que la direction de la pésanteur n'est point paralléle à elle-même; c'est-à-dire, que toutes les lignes perpendiculaires à l'horizon, par l'extrémité desquelles le mobile passe pour décrire la courbe *Faceg*, ne sont point paralléles comme on le suppose, puisqu'elles tendent toutes au centre de la terre; mais la force projectile que nous sommes capables d'imprimer à un corps, a si peu d'étendue, que cette cause n'a lieu que dans la rigueur géométrique, & ne produit aucun effet sensible.

V. EXPERIENCE.

PREPARATION.

La *Figure* 24. représente une cuvette plus longue que large, qui porte sur un de ses grands côtés un

plan vertical, & sur un de ses petits côtés, un gros tuyau de verre, au bas duquel est une espéce de robinet, dont la clef en tournant porte dans toutes sortes de directions le petit ajutage *A* que l'on ouvre en tournant une autre petite clef *B*; on met du mercure dans le tuyau jusqu'à une hauteur convenable; & le robinet est percé de façon que les frottemens sont diminués le plus qu'il est possible.

EFFETS.

1°. L'ajutage *A* étant vertical, lorsqu'on laisse échapper le mercure, il se fait un petit jet dans la même direction, qui après s'être élevé un peu moins haut que la surface supérieure du réservoir *C*, retombe sur lui-même, & s'épanouit comme les jets d'eau qu'on voit dans les jardins.

2°. Lorsqu'on met l'ajutage dans la direction horizontale *AD*, & que le mercure est à une hauteur convenable dans le tuyau, le jet se fait vis-à-vis de la parabole *AED*.

3°. Quand l'ajutage est oblique, comme dans la direction *AF* ou *AG*,

le jet décrit l'une ou l'autre des paraboles *AIK*, ou *ALM*.

EXPLICATIONS.

Lorsque le mercure sort par l'ajutage, il est poussé par une force projectile qui lui vient de la pésanteur de celui qui est dans le tuyau, & cette force peut être regardée comme uniforme, si le jet dure peu, & que la surface *C* du réservoir ne baisse point sensiblement. Le mercure s'éléve jusqu'à ce que sa pésanteur qu'il faut vaincre, ait consumé entiérement sa force projectile; & cet effet arrive avant qu'il parvienne à la hauteur de la surface *C*, parce que les frottemens & la résistance du milieu affoiblissent un peu cette force qui le fait monter.

Quand le jet de mercure s'échappe dans une direction horizontale, il continueroit dans la même ligne, s'il n'obéissoit qu'à la force qui le pousse dehors; mais dès qu'il est sorti, la gravité s'en empare aussi, & son action qui croît comme les nombres impairs 1, 3, 5, &c. fait voir à l'œil ce que nous avons supposé dans la *Figure 22.*

Enfin l'on peut dire la même chose de la ligne que décrit le mercure lorsqu'il s'échappe par *AF* ou *AG*: sa pésanteur ne lui permet pas d'y continuer son mouvement ; elle l'en écarte par des quantités qui sont conformes aux loix de son accélération, & la ligne qu'il suit est sensiblement une parabole, parce que vers la fin, où la résistance de l'air fait le plus d'obstacle, le jet, en s'épanouissant, devient plus large, & la partie supérieure ne sort presque pas de la parabole géométrique qui est tracée sur le plan.

On peut encore appeller ici en preuves les expériences sur le mouvement composé, où nous avons fait entrer la pésanteur pour une des puissances composantes ; telles sont celles que nous avons représentées par les *Figures* 11. & 13. Car dans l'une & dans l'autre, la courbe que trace le mobile par son mouvement, & que nous n'avons pas nommée alors, est encore une parabole, comme on le peut voir en y appliquant les régles que nous avons établies ci-dessus.

APPLICATIONS.

Toute la *balliſtique*, c'eſt-à-dire cette partie de l'artillerie qui conſiſte à meſurer avec juſteſſe le jet d'un corps fort péſant, comme une bombe, un boulet de canon, &c. conſiſte dans la combinaiſon qu'il faut faire de la force projectile, & de la péſanteur du mobile. On conçoit aiſément, par la ſeule inſpection des *Figures* 22. & 23. que la direction d'un boulet de canon ou d'une bombe étant une fois réglée, l'amplitude *H g* ou *M q* eſt d'autant plus grande, que le mobile eſt pouſſé avec plus de vîteſſe; car s'il pouvoit parcourir dans le premier inſtant toute la diſtance qui eſt entre les deux paralléles *FH*, *Gg*, ou *MC*, *Pq*, la parabole paſſeroit au point *k*, & ne différeroit pas beaucoup d'une ligne droite: ainſi un mortier qui a une certaine inclinaiſon, chaſſe donc la bombe d'autant plus loin, que la force projectile imprime plus de vîteſſe; mais cette force projectile vient de l'exploſion de la poudre, & c'eſt une choſe très-difficile que d'eſtimer

avec quelque justesse la valeur de cette impulsion. Elle dépend principalement de la qualité de la poudre & de la quantité, non pas que l'on y employe, mais qui s'enflamme; car il ne faut pas croire que dans ces grandes charges, le feu prenne par-tout avant le départ: l'expérience a fait voir qu'une grande partie tourne en pure perte; ainsi l'on voit qu'une des quantités les plus essentielles à connoître, pour juger le mouvement d'une bombe, est sujette à beaucoup de variations; * aussi quoiqu'on exige avec raison que les Officiers d'Artillerie soient instruits des principes, on a encore plus de raisons pour vouloir qu'ils soient bien exercés aux Ecoles établies dans cette vûe.

* *Mém. de l'Acad. des Sc.* 1716. pag. 79.



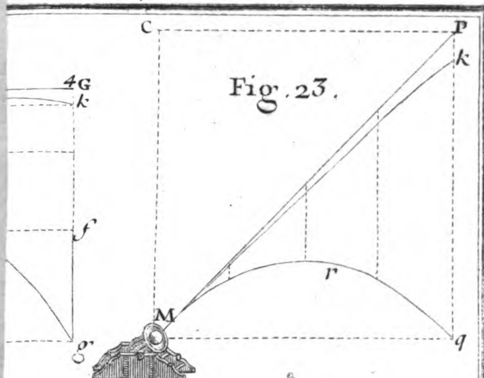


Fig. 24.

F
C
I
L
A
B
E

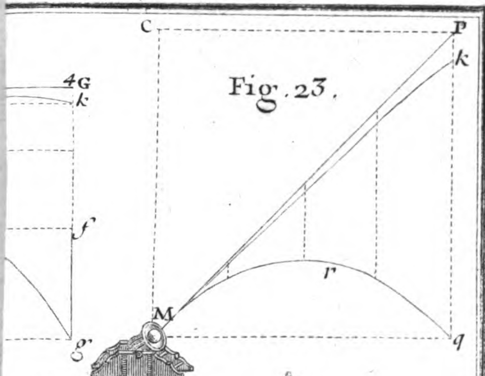
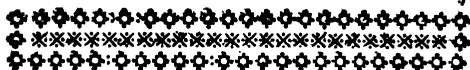


Fig. 23 .

Fig. 24 .

F
C
I
L
A
B
E



VII. LEÇON.

Sur l'Hydrostatique.

ON appelle *Hydrostatique* la science qui a pour objet, la pésanteur & l'équilibre des liqueurs. Quoique la gravité de ces corps soit la même que celle des autres, & qu'elle soit soumise aux mêmes loix que nous avons enseignées dans la Leçon précédente, l'état de liquidité donne lieu à des phénoménes particuliers qu'il est important de connoître, & qui méritent d'être traités à part.

Archiméde, parmi les anciens Philosophes, est celui qui paroît avoir fait le plus de progrès dans cette étude; on lui fait encore honneur aujourd'hui de la maniére ingénieuse par laquelle il reconnut qu'une couronne d'or n'étoit pas au titre auquel elle devoit être, en la pésant dans l'eau. Parmi les modernes Galilée, Toricelli, Descartes, Paschal; & dans ces derniers tems Mrs. Ma-

riotte & Guillelmini, ont ajouté beaucoup de belles connoiſſances à celles que l'on avoit déja ; & leurs expériences auſſi convaincantes que curieuſes, nous ont mis en état de ſçavoir ce que nous devons craindre ou attendre de la force des eaux qui agiſſent par leur poids ; & comment nous pouvons la tourner à notre utilité, en l'employant par le moyen des machines hydrauliques.

Les liqueurs, ſuivant l'idée que nous en avons donnée dans notre premiére Leçon, *page* 44. ſont des matiéres dont les molécules extrêmement petites & mobiles entre elles, n'ont point une cohérence bien ſenſible, de façon que chacune obéit librement à ſon propre poids ; tout au contraire des corps ſolides, dont les parties liées & adhérentes les unes aux autres, réſiſtent plus ou moins fortement à leur ſéparation, ne ſe meuvent que toutes enſemble, & exercent leur péſanteur en commun.

Nous ne cherchons point ici quelles ſont les cauſes de la liquidité, ni les différentes propriétés qui con-

viennent à cet état des corps : ces questions trouveront leurs places dans la suite. Il ne s'agit maintenant que de la maniére dont les liqueurs pésent ; & comme tout ce qui est liquide, ne l'est pas également, il est bon d'avertir que ce qu'exigent les loix de l'hydrostatique, s'exécute d'autant moins exactement, que les corps s'éloignent davantage de la parfaite liquidité. L'eau & l'huile se répandent si leurs vaisseaux viennent à se casser ; mais l'entiére effusion de celle-ci est plus lente.

Les fluides dont les parties sont aussi subtiles, aussi mobiles que celles des liqueurs, ont les mêmes propriétés qu'elles ; mais s'ils sont composés de molécules grossiéres & capables de s'accrocher fortement les unes aux autres, leur gravité a des effets un peu différens : l'air prend aussi exactement que l'eau, la forme du vaisseau qui le contient ; mais la fumée ne se répand pas de même, ni aussi promptement, dans le lieu où elle est.

Pour se former de la pésanteur des liqueurs ou des fluides une idée juste,

une idée qui facilite l'intelligence des phénoménes que nous avons à expliquer, il faut considérer les matiéres qui sont en cet état, comme un amas de petits corps solides, très-durs, indépendans les uns des autres, pésans séparément & à proportion de leurs petites masses. Mais une chose sur-tout qu'on ne doit jamais oublier, c'est l'extrême petitesse de ces molécules, qui les rend non-seulement impalpables, mais qui les soustrait aux yeux les plus perçans, lors même qu'ils empruntent le secours des meilleurs microscopes. C'est principalement de cette derniére qualité, que dépendent les effets les plus singuliers de l'hydrostatique, ceux dont l'explication a peine à se concilier avec une démonstration rigoureuse.

Nous comprendrons en trois sections ce que nous avons à dire touchant l'hydrostatique. Dans la premiére, nous examinerons de quelle maniére s'exerce la pésanteur d'une liqueur dont les parties sont homogénes, ou considérées comme telles; dans la seconde, nous ferons voir

comment se comportent ensemble plusieurs liqueurs dont les densités sont différentes ; & dans la troisiéme, nous comparerons les corps solides avec les liqueurs, en les y plongeant.

PREMIERE SECTION.

De la pésanteur & de l'équilibre des liqueurs, dont les parties sont homogénes.

SELON l'idée que nous nous sommes faite des liqueurs, celles qui sont homogénes sont composées de particules qui sont semblables, tant par la figure, que par la grandeur & le poids ; une certaine quantité d'eau, par exemple, sera donc un amas de très-petits corps mobiles, qui auront des forces égales pour se mouvoir de haut en bas ; sur ces principes on peut établir les propositions suivantes.

PREMIERE PROPOSITION.

Les liqueurs pésent, non-seulement quant à leur masse totale, mais encore en elles-mêmes, c'est-à-dire, quant aux parties qui les composent.

La premiére partie de cette propo-ſition n'a pas beſoin d'autre preuve, que l'expérience qu'on en a tous les jours, en portant un verre plein d'eau ou de vin à la bouche ; on ſent bien que quand il eſt vuide, il ne péſe pas autant. Comment donc ſe pourroit-il faire qu'une ſomme de petits corps péſans n'euſſent point de poids ?

L'autre partie eſt une ſuite néceſ-ſaire de la premiére, & ne ſemble pas avoir plus beſoin qu'elle d'être prou-vée. Car ſi la maſſe totale péſe, d'où lui peut venir cette péſanteur, ſinon des parties matérielles qui la compo-ſent ? Cependant la plûpart des Phyſi-ciens s'y arrêtent, parce qu'il s'en eſt trouvé quelques-uns qui ont prétendu que les liquides ne péſoient point *dans leur propre élément ;* mais par cette expreſſion vouloient-ils dire que les parties d'une liqueur ne péſent point dans la maſſe qu'elles compoſent ; qu'elles n'ont plus de péſanteur ab-ſolue ? Ou bien ſeulement, qu'elles ſont en équilibre entre elles ? Si ce dernier ſens eſt celui qu'ils ont atta-ché à leur propoſition, c'eſt com-battre un phantôme, que de s'amu-

ſer

ſer à prouver qu'une certaine quantité d'eau, par exemple, eſt encore péſante, quand elle eſt mêlée avec d'autre eau, ou qu'elle contribue au poids de la maſſe dont elle fait partie. Quoi qu'il en ſoit, voici la preuve qu'on en donne.

PREMIERE EXPERIENCE.

Preparation.

La *Figure* 1. repréſente un fleau de balance, qui tient en équilibre dans un vaſe plein d'eau, une petite bouteille de verre fort épaiſſe, vuide & bouchée.

Effets.

Auſſi-tôt qu'on débouche la bouteille, elle s'emplit d'eau, & elle va au fond du vaſe.

Explications.

On ſçait que de deux corps attachés aux bras d'une balance, celui qui enléve l'autre a le plus de poids; ſi la bouteille, en ſe rempliſſant d'eau, enléve le baſſin qui la ſoutenoit en équilibre, c'eſt que cette eau la rend

plus pésante qu'elle n'étoit, & pour preuve que l'augmentation de son poids n'est autre chose que celui de l'eau qu'elle reçoit, il n'y a qu'à rétablir l'équilibre, en ajoutant du poids dans le bassin opposé ; ce poids ajouté sera égal à celui d'une pareille quantité d'eau pésée hors de la masse dont elle fait partie : ce qui fait bien voir, à quiconque en voudroit douter, qu'une certaine qûantité de liqueur a toujours sa pésanteur absolue, soit qu'elle fasse partie d'une plus grande masse de la même liqueur, soit qu'elle se prenne séparément.

APPLICATIONS.

Des exemples sans nombre nous mettent tous les jours sous les yeux des effets semblables à celui que nous venons de voir dans l'exemple précédent. De même qu'une bouteille, quand on la débouche, devient plus pésante par l'eau qui la remplit, un seau qui flotte, ou une barque s'enfoncent & se perdent, lorsqu'il s'y fait quelque ouverture qui lui fait faire eau. La matiére qui compose ces sortes de vaisseaux, est ordinai-

rement plus pésante que le fluide qui les soutient, s'il peut s'y introduire & remplir leurs capacités, le tout ensemble fait une masse dont le poids excéde celui d'un égal volume d'eau; & par cette raison, le vaisseau tombe au fond.

Les corps bien poreux ou spongieux, qui demeurent quelque tems exposés à un air humide, comme les bois, les pierres tendres, la terre même, n'en deviennent-ils pas plus pésans? & tout au contraire ne perdent-ils pas dans un air plus sec, une partie de leur poids avec leur humidité? Ceux qui vendent au poids des marchandises qui sont susceptibles de sécheresse & d'humidité, comme le tabac, l'indigo, le sucre, &c. ont grand soin de les tenir dans des lieux frais, pour prévenir ou réparer une évaporation qui leur causeroit un déchet réel.

On est dans l'usage de conserver dans l'eau les bois qu'on destine à la construction des vaisseaux. Quand on les a jettés dans le bassin, on les voit surnager d'abord, mais peu-à-peu ils s'enfoncent, & demeurent cachés

ſous la ſurface de l'eau : c'eſt que ce liquide les pénétre avec le tems, ſoit qu'il rempliſſe des vuides, ſoit qu'il prenne la place d'autres matiéres plus légéres qui cédent à ſon effort, & alors la piéce composée de bois & d'eau, égale ou ſurpaſſe même en péſanteur le liquide qui l'environne ; car c'eſt un fait conſtant, que les parties propres du bois le plus léger péſent plus que l'eau. Le liége même ne ſurnage plus, lorſqu'ayant été long-tems macéré, ſes parties ſe déſuniſſent, & ne compoſent plus, comme d'ordinaire, un volume où il y a beaucoup plus de vuide que de ſolide.

L'eau qui pénétre les corps, ajoute donc à leur poids, en qualité de liqueur péſante, non-ſeulement lorſque ces corps ſont hors d'elle, mais lors même qu'ils y ſont entiérement plongés; & cela, parce que les parties des liquides, comme celles des autres corps, ſont de petites portions de matiére, & que toute matiére eſt péſante.



II. PROPOSITION.

Les parties d'une même liqueur exercent leur pésanteur, indépendamment les unes des autres.

Cette propriété leur vient de ce qu'elles n'ont point de cohérence sensible, de ce qu'elles peuvent se séparer presque sans effort, tout au contraire des corps solides, dont les parties sont liées, adhérentes & difficiles à désunir. Si l'on veut enlever une pierre, ou un morceau de bois, par quelque endroit qu'on le prenne, on soutient toute sa masse, il est bien naturel qu'on en sente aussi tout le poids ; mais si l'on met le bout du doigt sous le fond d'un vaisseau percé & plein de liqueur, pour arrêter l'écoulement, on n'a à vaincre que le poids de la colonne qui répond perpendiculairement au trou ; car pourquoi porteroit-on les autres, si celle-là peut tomber sans les entraîner avec elle ? L'expérience rendra ceci évident.

II. EXPERIENCE.

PREPARATION.

Au fond d'un grand vaiſſeau cylindrique de verre, repréſenté par la *Fig.* 2. on a pratiqué un trou & une virole cylindrique d'un pouce de diamétre, que l'on bouche avec un morceau de liége bien arrondi & graiſſé, afin qu'il puiſſe céder à une médiocre preſſion ; le canal commencé par la virole, eſt continué dans le vaiſſeau par un tube de verre *A*, de même diamétre, qui peut s'ôter quand il en eſt beſoin ; & le tout eſt porté ſur un trépied, au-deſſus d'un plat ou d'un baſſin, pour recevoir l'eau qui s'écoule.

EFFETS.

Après avoir verſé doucement de l'eau dans le tuyau *A*, on remarque à quelle hauteur elle eſt, quand ſon poids chaſſe le bouchon *B* ; on ôte le tuyau, on remet le bouchon, comme il étoit avant, & ſi l'on emplit le vaſe juſqu'à ce que le bouchon ſorte de ſa place, on pourra ob-

ferver que l'eau eſt précifément à la même hauteur qu'elle étoit précédemment dans le tuyau.

EXPLICATIONS.

On ne peut diſconvenir que le bouchon *B* ne ſoit chaſſé de ſa place par le poids de l'eau. Il réſiſte autant, lorſqu'on emplit le grand vaiſſeau, que quand on ne charge que le tube, pourvû que ce ſoit à même hauteur : il eſt donc évident que ce tuyau ne change rien à la preſſion du fluide, & que la colonne qui péſe ſur le bouchon, agit de même, ſoit qu'on la ſépare du reſte par une enveloppe ſolide, ſoit qu'elle ait communication avec la maſſe totale. Ne diſſimulons pas cependant que le frottement cauſe quelque petite différence, parce que cette réſiſtance eſt plus grande, quand la colonne d'eau ſe meut dans un tuyau dont la ſurface eſt ſolide, que quand elle n'eſt contenue que par une maſſe d'eau dont les parties ſont roulantes.

Pour prendre une idée juſte de ces ſortes d'écoulemens, & pour concevoir avec facilité pourquoi les flui-

des exercent leur péſanteur autrement que les ſolides, il faut ſe repréſenter, comme on le voit par la *Fig.* 3. toute la maſſe d'eau contenue dans notre grand vaſe, diviſée en pluſieurs colonnes, 1, 2, 3, 4, 5, dont chacune eſt composée d'un égal nombre de parties ; ſi le fond du vaiſſeau qui ſert de baſe & d'appui à toutes ces colonnes, vient à s'ouvrir en *a*, la partie inférieure de la colonne 3 n'étant plus ſoutenue, doit tomber par l'ouverture, & après elle toutes les autres qui ſont poſées deſſus. Cette colonne entiére gliſſera donc de haut-en-bás, entre la ſeconde & la quatriéme, qui ſont ſoutenues aux points *b* & *c*, & dont toutes les parties mobiles, ſur leur propre centre, deviennent autant de petits rouleaux qui facilitent ſa deſcente. Si la ſeconde & la premiére colonne d'une part, la quatriéme & la cinquiéme de l'autre part, étoient composées de parties liées & cohérentes, elles ſubſiſteroient de toute leur longueur, & par la chûte de la troiſiéme, il ſe feroit un vuide entr'elles. Mais comme ces particules ſont extrêmement
petites

petites, extrêmement mobiles les unes ſur les autres, dès que le haut de la troiſiéme colonne vient à deſcendre, & qu'elles ceſſent d'être ſoutenues en cet endroit, elles s'écroulent à proportion de l'écoulement; & de cette maniére la ſuperficie de la maſſe totale baiſſe toute enſemble, quoiqu'il n'y ait qu'une des colonnes qui fourniſſe à l'écoulement par ſa chûte.

Quand les parties ont une cohérence ſenſible, comme celles des liqueurs graſſes ou viſqueuſes, ou que la maſſe du fluide qui s'écoule, a beaucoup de largeur par rapport à ſa hauteur, on s'apperçoit aſſez bien du vuide que laiſſe au-deſſus d'elle la colonne qui s'écoule; la ſuperficie, au-lieu d'être plane comme à l'ordinaire, eſt plus creuſe dans le milieu, parce que les parties voiſines n'arrivent point avec aſſez de vîteſſe, pour remplacer celles qu'une péſanteur directe fait deſcendre.

APPLICATIONS.

On voit par l'explication que nous venons de donner, combien la flui-

dité des corps apporte de changement aux effets de leur pésanteur. Si l'on tiroit avec un fil, ou qu'on poussât de bas-en-haut le bouchon *B*,* on n'auroit à soulever que le poids de la colonne dont il est la base, parce que cette portion d'eau étant indépendante du reste, peut se mouvoir librement dans la masse. Mais si cette masse venoit à se convertir en glace; par la seule raison qu'elle ne seroit plus liquide, & que ses parties seroient liées & cohérentes, la main qui soutiendroit la colonne qui répond au bouchon, dès l'instant de la congélation, auroit à porter tout ce qui est contenu dans le vaisseau.

* *Fig. 2.*

Le frimât, la neige, & toutes les congélations aqueuses qui s'attachent aux arbres & aux plantes, les affaissent & les fatiguent bien davantage que l'eau qui les mouille, parce que les branches ont à porter non seulement les parties humides qui les entourent, & qui sont adhérentes à leur écorce, mais encore celles que la gelée attache à celles-ci, & que leur propre poids feroit tomber de côté, si elles étoient fluides.

Ceux qui ont eu occasion de visiter les cavernes & les grottes naturelles qui se rencontrent en différens pays, ont pû remarquer souvent certaines concrétions pierreuses qui se forment goute à goute, & qui pendent aux voûtes, à peu près comme les glaçons qu'un faux dégel fait naître au bord des toits, & de tous les endroits où il s'est fait quelque fonte un peu lente de la neige ou de la glace. Ces sortes de pierres que l'on nomme *stalactites*, sont originairement liquides comme l'eau qui en charrie les parties; la premiére goute qui demeure suspendue à la voûte, n'a que l'adhérence qu'il lui faut, pour soutenir son propre poids, mais à mesure que son humidité s'évapore, elle devient solide & capable d'en porter d'autres à qui la même chose arrive, de maniére qu'une masse assez considérable demeure suspendue malgré son poids, par la seule raison qu'elle est solide, & qu'une partie tient à la voûte.

Cette opération de la Nature est imitée d'assez près par les ouvriers qui fabriquent la bougie & la chan-

delle ; les méches sont enfilées parallélement sur des baguettes, & on les plonge à plusieurs reprises dans des baquets qui contiennent le suif fondu, ou bien on fait couler par en-haut la cire toute chaude le long de la méche ; cette derniére pratique est surtout en usage pour les cierges, qui doivent être plus gros par-en-bas ; car on conçoit bien que la matiére en se refroidissant coule moins vîte vers la fin de sa chûte, & l'on a grand soin aussi de ne la point employer trop chaude, afin qu'il en reste davantage à chaque immersion, ou chaque fois qu'on la verse.

Ne quittons point cet article sans observer un fait qui trouve encore son explication dans notre seconde proposition. Les liqueurs ne touchent pas à la maniére des solides ; leur choc, à quantités égales de matiére, ne se fait pas sentir de même ; en un mot, on craint la chûte d'un glaçon du poids d'une livre, & l'on n'appréhende point d'être blessé par une pareille quantité d'eau.

Indépendamment de ce que les liqueurs sont divisées en tombant par

des milieux résistans, & que leur superficie augmentée par cette division, retarde assez considérablement la vîtesse de leur chûte ; indépendamment, dis-je, de cette raison, les corps en cet état s'appliquent à une plus grande surface, & divisent leur effort total en une infinité de petites impressions peu sensibles. Supposons, par exemple, qu'on présente le plat de la main à la chûte d'une livre d'eau qui ait une figure sphérique, on peut concevoir cette boule fluide comme un assemblage de petites colonnes, paralléles entr'elles & à la direction de leur chûte commune ; la plus longue de toutes, à cause de la sphéricité de la masse, portera son effort seul au milieu de la main, & les autres, par la même raison, arriveront un peu plus tard & frapperont les parties voisines, chacune en raison de sa masse particuliére, ainsi tout le coup sera partagé à toute la largeur de la main qui le reçoit. Mais si cette boule est de glace, ce ne sera pas la même chose, la main ne sera frappée qu'en un très-petit espace, qui recevra l'effort non seulement de

la colonne qui lui répond, mais encore de toutes les autres qui sont unies à celle-ci, & qui exercent leur pésanteur en commun avec elle. De-là vient qu'un corps anguleux, ou pointu, fait plus de mal en tombant, qu'un autre qui seroit plat, parce que son effort est réuni sur une plus petite place; & par la raison du contraire, on risque moins de se blesser quand on tient la main creuse, pour recevoir une boule qui tombe, que lorsqu'on l'étend.

III. PROPOSITION.

Les liqueurs exercent leur pésanteur en toutes sortes de sens.

C'est-à-dire, que non-seulement elles pésent de haut-en-bas, comme tous les autres corps, mais elles pressent aussi lateralement tous les obstacles qui les retiennent; & elles tendent à s'élever de bas-en-haut, lorsqu'elles communiquent avec des quantités plus hautes, & par-là plus pésantes qu'elles.

On conçoit aisément comment les liquides pésent de haut-en-bas, puisqu'ils sont composés de parties

qui participent à la gravité, qui eſt commune à tous les corps. Mais il n'eſt pas auſſi facile de comprendre leur preſſion latérale. Cependant ſi l'on fait attention que leurs molécules ſont dans le vaſe qui les contient, comme un amas de petits globules, on pourra bien imaginer qu'elles ne ſont pas toutes arrangées réguliérement les unes ſur les autres, comme dans la *Fig.* 3. mais que le plus ſouvent une colonne exerce ſa preſſion entre deux autres, & tend à les écarter, comme on le peut voir en la *Fig.* 4. où la preſſion perpendiculaire, qui ſe fait vis-à-vis du point *d*, eſt tranſportée par les colonnes latérales vers les côtés *e*, *f*, du vaſe. De la même maniére, quand la colonne *d f* agit contre les deux parties *g*, *h*, la premiére fait une réſiſtance ſuffiſante à cauſe des parois du vaſe qui l'appuyent : mais la partie *h* ſouffre un effort qui la ſouléve de bas-en-haut, & qui aura ſon effet, à moins qu'une colonne égale à *i k*, ou quelque choſe d'équivalent, ne péſe deſſus pour la contenir.

Cette preſſion qui ſe communique

ainsi à la partie *b*, & qui tend à la soulever, a donné lieu à cette expression, *les liqueurs pésent de bas-en-haut ;* mais ce seroit en abuser, & prendre de la pésanteur des liquides une idée très-fausse, si l'on prétendoit en effet qu'elles ont en elles-mêmes une tendance à s'élever ; une colonne de liqueur est portée de bas-en-haut, par la pression d'une autre qui s'exerce de haut-en-bas avec avantage, comme une livre de plomb au bras d'une balance, jusqu'à ce que toutes deux soient également élevées au-dessus de l'horizon. Venons maintenant à la preuve de notre proposition.

III. EXPERIENCE.

PREPARATION.

Dans un grand vase plein d'eau colorée, *Fig.* 5. on plonge successivement trois tubes de 6 à 7 lignes de diamétre, ouverts des deux bouts, mais dont on tient le haut bouché avec le pouce pendant le tems de l'immersion.

Effets.

Quand chacun de ces tubes eſt plongé, & qu'on le débouche par le haut en ôtant le pouce, l'eau s'éléve dedans à la même hauteur où elle eſt dans le grand vaſe, quelque figure qu'ait le tube.

Explications.

Le tube que l'on plonge perpendiculairement dans le vaſe, contient une colonne d'air qui remplit ſa capacité, & qui ne peut en ſortir tant qu'on le tient bouché par en-haut; car ce fluide étant plus léger que l'eau, ne peut plus ſortir par-en-bas, dès que le bout du tube eſt plongé. Mais ſi-tôt que le pouce eſt ôté de deſſus l'orifice ſupérieur, & que l'air ceſſant d'être appuyé en cette partie, ne fait plus un obſtacle invincible à l'eau, elle y eſt portée par le poids de celle qui reſte dans le grand vaſe, en la maniére qui ſuit.

Lorſque le tube *C* eſt plongé, l'eau par ſa péſanteur naturelle tombe de *D* en *E*, & coule d'*E* en *F*, parce qu'elle eſt compoſée de parties

mobiles & roulantes, & que cette partie du tube forme un plan incliné. L'effet en demeureroit là, s'il y avoit en *F* un obstacle invincible, ou que ce qui est contenu dans la sinuosité *E F*, ne pût s'y mouvoir facilement. Mais c'est un fluide pressé par la colonne *G D*; qui répond perpendiculairement à l'orifice du tube, & qui est continuée jusqu'en *E*; l'eau s'éléve donc dans la branche *C F*, non qu'elle ait une tendance réelle de bas-en-haut, mais parce qu'elle obéït au poids d'une colonne *G E*, qui pése de haut-en-bas; & elle continue de s'élever jusqu'en *c*, c'est-à-dire, à telle hauteur où elle est en équilibre avec *G E* qui la pousse.

En quelque endroit du vase que l'on plonge le tube *H*, son orifice inférieur, de quelque côté qu'il se présente, reçoit toujours un volume d'eau pressé latéralement par la colonne perpendiculaire, à laquelle il répond, & qui porteroit son effort contre la paroi du vase, comme on le voit en *e* & en *f*, *Fig.* 4. ainsi l'eau étant poussée dans l'orifice *I*, avec une pression égale au poids de la co-

lonne *I K*, elle s'éléve à la même hauteur dans le tuyau, & de la même maniére que dans le précédent.

Enfin si le tube n'est point recourbé, & qu'il se présente comme *L M*, dans l'instant où il est débouché par le haut, l'eau qui se présente à son orifice *M*, est dans le cas du globule *h*, *Fig.* 4. appuyée sur la colonne perpendiculaire *M k*, par les colonnes latérales, *l o*, *l o*, qui ont leur point d'appui contre les parois du vase, & pressée par le poids des colonnes voisines *n o*, *n o*; elle est donc obligée de s'échapper par le tube où elle trouve moins de résistance, jusqu'à ce que son propre poids, augmentant avec sa hauteur, soit enfin égal à celui qui la force.

IV. EXPERIENCE.

Preparation.

P Q, *Fig.* 2. sont deux viroles de la même largeur que celle qui est en *B*, & propres à recevoir le même bouchon; mais quand il est placé à l'une des trois viroles, il faut que les deux autres soient fortement bouchées.

EFFETS.

A telle virole que soit placé le bouchon mobile, il céde toujours à l'effort de l'eau que l'on verse dans le vase, quand elle parvient à une même hauteur.

EXPLICATIONS.

Cette expérience prouve la même chose, & s'explique de même que la précédente ; l'effort que l'eau fait perpendiculairement, en pésant sur le fond du vase, comme tout autre corps pourroit faire, se distribue contre les parois mêmes, & en toutes sortes de sens, à cause de la mobilité, de la figure & de la petitesse des parties ; mais comme cet effort vient de la pésanteur, & que la direction naturelle de cette puissance est perpendiculaire au fond du vaisseau, le bouchon ne céde que quand la liqueur a une certaine hauteur, & la même quantité d'eau ne suffiroit pas, si le vase, étant plus large, tenoit la superficie du fluide moins élevée.

APPLICATIONS.

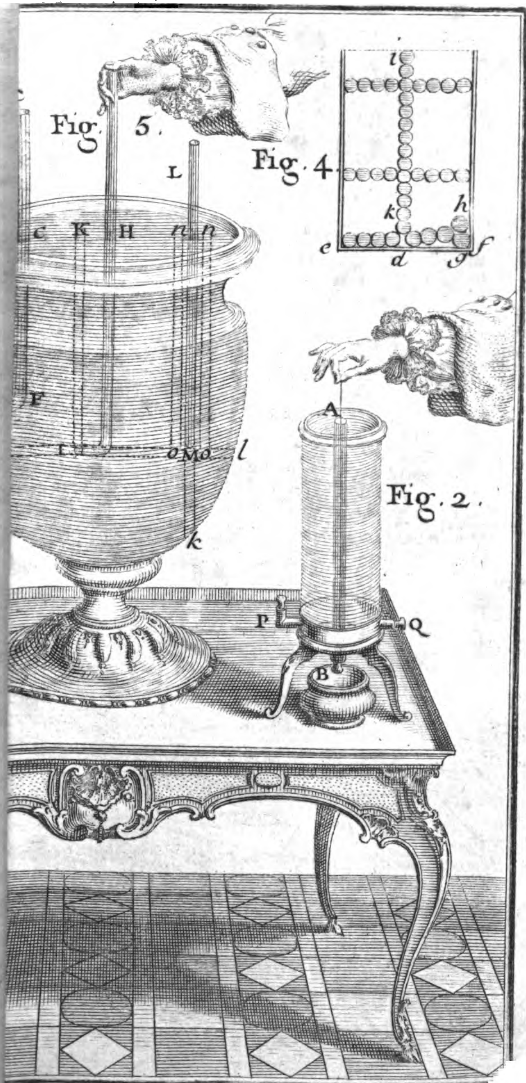
On rencontre à tout inſtant des preuves de la preſſion latérale des fluides ; un pot, une bouteille inclinée, un tonneau que l'on met en perce, ne ſe vuideroient jamais, ſi la liqueur qu'ils contiennent, ne les preſſoit que de haut-en-bas, à la maniére des corps ſolides : un navire percé d'un coup de canon, fait eau par le côté, & riſque de ſe perdre, ſi l'on n'y met reméde, comme ſi le mal étoit au fond vers la quille ; & l'eau y entre avec d'autant plus de vîteſſe, que la mer a plus de hauteur au-deſſus du trou.

Quand on bâtit des digues, des réſervoirs, & autres ouvrages hydrauliques, on a grand ſoin de les proportionner aux efforts de l'eau. On a vû quelquefois des provinces ſubmergées, & quantité d'autres accidens funeſtes, parce qu'on n'avoit point opposé des réſiſtances ſuffiſantes à la preſſion latérale des eaux.

On doit porter ces ſortes de précautions juſques dans les travaux où les matiéres ſont tant ſoit peu flui-

des, soit par la petitesse de leurs parties, soit par leur peu de liaison ; si, par exemple, on éléve une digue avec de la terre, ou avec du cailloutage, on la voit bien-tôt s'écrouler, si l'on ne donne à ses côtés une pente suffisante qu'on appelle *talus* ; & ses murs qui retiennent les terrasses, ne résistent à la poussée, que quand ils ont une solidité proportionnée à la hauteur & à la nature des terres.

Creuser un puits, c'est former dans la terre un canal perpendiculaire à l'horizon. Ce canal est dans le cas du tuyau *L M*; s'il y a dans le voisinage, des eaux dont la surface soit plus élevée que le fond du puits, elles doivent le remplir jusqu'à ce qu'il en contienne assez pour leur faire équilibre. Il arrive assez souvent que l'on creuse fort profondément, avant que de trouver une terre de nature à laisser passer l'eau : c'est comme si l'on enfonçoit beaucoup le tube, sans ôter le pouce qui le bouche par en-haut : si on le débouche alors, les colonnes latérales étant fort longues & fort pésantes, chassent l'eau dans le tube avec précipitation ; de même il est


Fig. 5.
Fig. 4.
Fig. 2.
L
C K H n n
F
I
o M o l
k
l
k h
e d g f
A
B
P Q

arrivé souvent que des ouvriers ont été surpris par l'abondance de l'eau au fond d'un puits neuf, parce que la nature du terrain leur avoit fait chercher trop avant un passage à la source, & qu'il s'étoit trouvé tout-à-coup trop libre.

De ce qu'une liqueur peut être élevée de bas-en-haut par le poids des colonnes voisines, il suit qu'on peut indifféremment remplir un vaisseau par le fond, s'il est percé, en le plongeant perpendiculairement, ou bien par son embouchure en l'inclinant ; & ce choix est d'un avantage considérable en plusieurs occasions, je n'en citerai qu'une.

Pour tirer l'eau des puits qui sont fort profonds, on se sert quelquefois de deux sceaux attachés aux deux bouts d'une même corde, qui embrasse un tambour qu'on fait tourner, de maniére que l'un descend pendant que l'autre monte ; c'est, à mon avis, la meilleure machine connue qu'on puisse employer en pareil cas, c'est-à-dire, quand une grande profondeur rend l'application des pompes très-difficile ; mais comme

ces ſceaux ſont ordinairement fort grands, & qu'on eſt ſouvent obligé de leur donner de la longueur aux dépens de la largeur, pour s'accommoder au diamétre du puits, on prend le parti de les emplir par le fond, & pour cet effet on y pratique une ou pluſieurs ſoupapes, qui laiſſent entrer l'eau, & qui ne lui permettent pas de retomber.

IV. PROPOSITION.

Toutes les parties d'une même liqueur ſont en équilibre entr'elles, ſoit dans un ſeul vaiſſeau, ſoit dans pluſieurs qui communiquent enſemble.

Pour ôter toute équivoque, j'entens ici par le mot de *parties*, des volumes égaux & en tout ſemblables; car comme les molécules changent ſelon le degré de liquidité, il pourroit ſe rencontrer des cas où la denſité ne feroit point uniforme dans toute la maſſe, & alors on devroit conſidérer la liqueur comme s'il y en avoit pluſieurs mêlées enſemble.

En ſuppoſant donc toutes les parties parfaitement ſemblables, comme on a tout lieu de croire qu'elles le ſont dans

la

la plûpart des liqueurs, je dis qu'il y a équilibre entre elles, ou qu'elles se meuvent jusqu'à ce qu'elles soient parvenues à cet état, parce qu'elles ont des forces égales ; car la force d'un corps qui tend à tomber, n'est autre chose que cette tendance, & sa quantité de matiére. Or la tendance à tomber, est égale dans tous les corps, comme nous l'avons prouvé dans la Leçon précédente ; & dans toutes les parties d'une liqueur homogéne, la masse est la même selon notre supposition ; ainsi les couches supérieures ne peuvent déplacer celles qui sont au-dessous, parce que celles-ci ont autant de force pour rester où elles sont, que celles-là peuvent en employer pour les déplacer.

Qui dit équilibre, dit repos ; cependant je ne prétens exclure ici d'autre mouvement que celui qui viendroit de la pésanteur plus grande d'une part que d'une autre. Plusieurs Physiciens prétendent que les parties des liquides se meuvent continuellement ; s'ils entendent par ce mouvement celui que la chaleur entre-

tient dans tous les corps, il n'est guéres possible de le leur contester; & nous ferons voir ailleurs qu'il est très compatible avec l'équilibre dont il s'agit maintenant : mais si l'on veut que ce soit une qualité affectée aux liqueurs en tant que telles, j'avoue que je ne connois aucun phénoméne qui m'oblige à recevoir cette supposition ; & je pense qu'on ne doit pas sans de bonnes raisons supposer un mouvement actuel, où peut suffire une mobilité de parties incontestables. Passons aux preuves de notre proposition.

V. EXPERIENCE.

Preparation.

Dans un scyphon renversé, tel qu'il est représenté par la *Fig.* 6. il faut verser de l'eau colorée, du vin, ou du mercure, &c. & poser le support sur un plan bien horizontal.

Effets.

La liqueur s'éléve également dans les deux branches en même-tems.

EXPLICATIONS.

La partie inférieure du ſcyphon étant pleine, s'il s'éléve dans l'une des deux branches une colomne de liqueur comme *A B*, ſon poids s'exerce ſur la partie *B C* qui eſt mobile, la ſollicite à s'élever dans l'autre branche, & cet effort eſt vaincu par le poids d'une colomne ſemblable *C D*; ainſi puiſque *C D* & *A B* qui ſont de même longueur, ſe ſoutiennent mutuellement, on peut conclure que les parties ſemblables d'une même liqueur, ſont en équilibre.

VI. EXPERIENCE.

PREPARATION.

Le canal *E F*, *Fig.* 7. par le moyen d'un robinet qui eſt au milieu, ouvre une communication entre le grand vaiſſeau *G H*, & le tuyau montant *E I*. Ce tuyau eſt ajuſté en *E*, de façon qu'on peut l'ôter, & mettre en ſa place un autre tuyau *K* qui s'éléve obliquement, ou *L* qui a pluſieurs ſinuoſités, & l'on emplit le grand vaſe juſqu'en *G H*, avec une liqueur colorée.

EFFETS.

Dès qu'on a tourné le robinet pour ouvrir la communication entre le grand vaiſſeau *G H*, & le tuyau montant *E I*, la liqueur s'éléve juſqu'en *I*; & cet effet eſt toujours le même, ſoit que le tuyau ſoit droit & perpendiculaire, ſoit qu'il ſoit oblique ou tortu.

EXPLICATION.

Quand on compare des liqueurs par rapport à leur poids dans des vaiſſeaux qui communiquent, ce ne ſont point les quantités contenues de part & d'autre qu'il faut comparer, mais les colonnes qui ſe touchent par leurs baſes au trou de communication. Dans notre expérience, par exemple, c'eſt le trou de la clef du robinet qui meſure la baſe de ces colonnes; or comme ce trou eſt commun aux deux, quelque quantité de liqueurs qu'il y ait dans le grand vaſe, il n'y a jamais qu'un filet capable de paſſer par ce trou, qui y exerce ſa preſſion: le reſte eſt porté tant ſur le fond, que ſur les parois inclinés du

vase; il n'est donc point étonnant qu'une petite colonne d'eau contre-balance cette pression dans le tuyau, & ne s'éléve pas plus haut que la surface *G H.* * *Fig. 7.

Si le tuyau montant est incliné en un sens comme *K*, ou en plusieurs comme *L*, il faudra une plus grande quantité de liqueur pour faire équilibre à la pression qui vient du grand vase, parce que tous les corps qui pésent par des plans inclinés, perdent une partie de leur poids, & que le filet de liqueur qui pése en *E*, est capable d'en porter un semblable à la hauteur *E I*, quelque chemin qu'il tienne.

APPLICATIONS.

Quand l'eau d'une riviére, d'un étang, d'un lac, &c. pénétre par son propre poids dans la terre, si les canaux qu'elle y trouve, ou qu'elle se pratique avec le tems, prennent une forme semblable à la *Figure* 6. quelque distance qu'il y ait entre *A D*, quelque disposition que prenne le terrain entre *B C*, l'eau remonte aussi haut que le lieu d'où elle est descen-

due. On ne doit donc pas regarder comme un phénoméne inexplicable, une source qui fait naître ou qui entretient une piéce d'eau considérable sur une montagne fort élevée ; c'est qu'elle vient de quelque endroit encore plus haut ; & quoiqu'on n'en connoisse point de tels à 40 ou 50 lieues de distance, ce n'est point une raison pour rejetter cette explication.

Si l'on a dessein de conduire l'eau par sa propre pésanteur, il ne faut pas, comme l'on voit, se flatter d'y réussir, si le lieu où elle est, se trouve plus bas que celui où l'on veut qu'elle vienne ; il ne suffiroit pas même que les deux lieux fussent de niveau, parce qu'il faut de la pente pour vaincre la résistance des frottemens. C'est pourquoi dans tous les aqueducs, dans les tuyaux de conduite, dans les canaux où l'on veut qu'il y ait écoulement, on donne ordinairement $\frac{1}{2}$ ligne d'inclinaison par toise.

On ne doit pas non plus désespérer de conduire l'eau où l'on veut, quoiqu'on soit obligé de la faire passer par des endroits beaucoup plus

bas que celui où l'on a dessein qu'elle aille, pourvû que celui-ci ne soit pas aussi élevé que la source d'où elle part. L'eau qui se distribue dans les jardins, dans les maisons de Paris, & que l'on fait monter jusques dans les appartemens pour l'usage des garderobes, vient par des tuyaux enterrés sous le pavé des rues; mais cette eau qu'ils aménent, arrive de quelque édifice public, des réservoirs du Pont Notre-Dame, de la Samaritaine, &c. qui sont plus élevés que les lieux de sa destination, soit par eux-mêmes, soit par la disposition du terrain.

Tout le monde sçait que la surface des liqueurs est un plan horizontal, quelque forme que puisse avoir le vaisseau qui les contient. C'est une suite nécessaire de l'équilibre de leurs parties; car si les colonnes *GM*, *OP*, *HN*, * exercent l'une contre l'autre des pressions égales, à la hauteur *MN*, où elles rencontrent les parois du vaisseau, étant d'une même matiére, il faut qu'elles ayent, à compter de là, des volumes égaux, & par conséquent que leurs extrémités d'en-

* Fig. 7.

haut se trouvent dans la même ligne *GH*.

Mais ce plan que représente la superficie des liqueurs, n'en est un que pour nos sens. Car lorsque la surface des eaux a beaucoup d'étendue, par le même principe il est prouvé qu'elle est convexe, & l'expérience est parfaitement d'accord avec la théorie.

Il n'y a personne qui ait été dans un port, ou qui ait voyagé sur mer, qui n'ait dû remarquer qu'on apperçoit les mâts d'un vaisseau qui aborde, avant qu'on puisse voir le corps du bâtiment; comme aussi en approchant d'une ville on découvre les clochers & les toits avant que d'appercevoir le rez-de-chaussée des maisons. C'est que nous ne pouvons voir qu'en ligne droite, & que la convexité de la mer interrompt le rayon visuel qui vient du corps du vaisseau à l'oeil du spectateur, à une distance où le rayon qui vient du mât est libre, comme on le peut voir par la *Figure* 8.

En effet, si les colonnes d'eau qui composent la mer, en vertu de leur pésanteur égale, doivent avoir leurs

leurs extrémités supérieures *a*, *b*, *c*, également distantes du centre de la terre *d*, qui est le centre commun de tous les corps graves, elles ne peuvent pas se ranger dans un plan représenté par la ligne *e f*; il faut nécessairement qu'elles composent une surface convexe, qui ait son centre en *d*, *Fig.* 9.

Enfin il suit encore de cet équilibre des parties d'une même liqueur, que de plusieurs réservoirs qui communiquent, il n'en faut voir qu'un pour juger à quelle hauteur est la liqueur dans les autres. Car quand on me cacheroit une des deux branches du scyphon de la *Figure* 6. ou le grand vaisseau de la *Figure* 7. en conséquence du principe établi, la liqueur élevée en *A* ou en *I*, m'apprendroit infailliblement qu'elle est à une semblable hauteur de l'autre part. Je sçaurai donc combien il reste de vin dans un tonneau, si je puis seulement joindre au robinet un tuyau montant comme *E I*.* * *Fig.* 7.

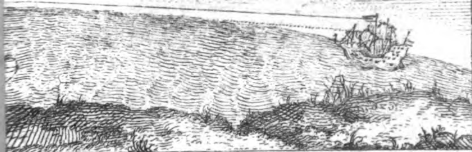
Non-seulement on peut connoître de cette maniére à quelle hauteur est une liqueur dans des vaisseaux opa-

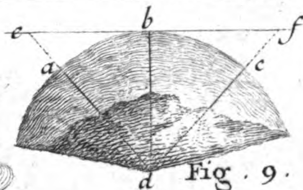
ques ou inacceſſibles, mais on peut auſſi s'en ſervir pour les emplir. Car ſi l'on verſe de la liqueur dans le tuyau *I*, elle ne pourra s'y ſoutenir que par le contrepoids d'une colonne ſemblable dans le grand vaſe *G H*. Mais cette colonne ne peut s'y élever, & ſe ſoutenir toute ſeule; à meſure qu'elle commencera, elle s'écroulera par ſon propre poids & par la fluidité de ſes parties, & elle ne parviendra à la hauteur *O*, qu'autant que le vaſe s'emplira pour la ſoutenir latéralement.

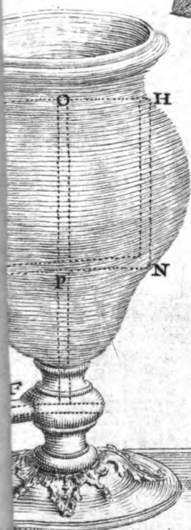
V. PROPOSITION.

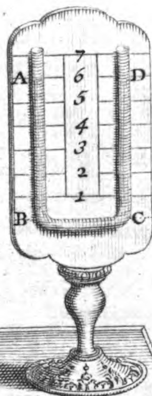
LES liqueurs exercent leur preſſion tant perpendiculaire que latérale, non en raiſon de leur quantité, mais en raiſon de leur hauteur au-deſſus du plan horizontal, & de la largeur de la baſe qui les ſoutient.

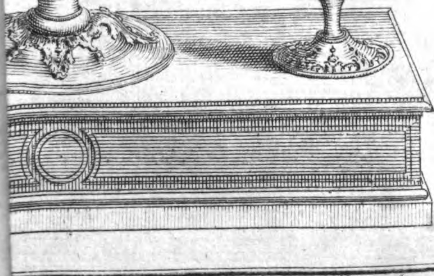
C'eſt-à-dire, que ſi l'on conſerve la hauteur & le fond du vaiſſeau toujours les mêmes, on pourra changer indifféremment ſa forme & ſa capacité; de ſorte qu'une certaine quantité d'eau, par exemple, pourra faire un effort 200 ou 300 fois plus ou


Fig. 8.


e
b
f
a
c
d
Fig. 9.


ig. 7.
O
H
N
P
F


Fig. 6.
7
6
5
4
3
2
1
A
D
B
C



moins grand, ſelon la maniére dont elle ſera employée : propoſition paradoxe, mais très-certaine, & d'autant plus importante, qu'elle influe ſur preſque toutes les machines hydrauliques.

VII. EXPERIENCE.

PREPARATION.

Sur les deux petits côtés de la cuvette *A B*, *Fig.* 10. s'élévent deux montans *A C*, *B D*, creuſés par dedans en couliſſes, pour recevoir les deux pieds de la piéce *E F*, qui, par ce moyen, hauſſe & baiſſe, & ſe fixe où l'on veut avec les deux vis *C*, *D*. En *E* & en *F*, ſont deux petits piliers ouverts par le haut en fourchettes, pour recevoir deux leviers *G*, *H*, terminés de part & d'autre par deux portions de poulies, dont les gorges ont pour centre celui du mouvement dans la fourchette.

Au fond de la cuvette eſt attaché un trépied de fer, qui porte un cylindre creux de métal *I K*, dans lequel gliſſe un piſton qui a peu de frottemens. Ces deux piéces enſem-

ble sont représentées par la *Figure* 11.

Le cylindre reçoit à vis plusieurs vaisseaux de verre, représentés par les *Figures* 10. 12. & 13. garnis par le bas, d'une virole de cuivre, & par le haut, d'une large cuvette. La hauteur de tous ces vaisseaux est égale, mais leurs figures & capacités sont, comme l'on voit, fort différentes.

Quand un de ces vaisseaux est adapté au cylindre, comme on le peut voir par la *Figure* 10. deux poids *L*, *M* qui tirent sur les leviers, tendent à élever perpendiculairement le piston, par le moyen d'une verge de métal *N*, & d'un double cordon attaché en *G* & en *H*, & qui traverse une mortaise pratiquée à la piéce *EF*.

La *Figure* 14. représente une espéce de lanterne cubique de métal, garnie de glaces, à laquelle s'ajuste le cylindre de la *Figure* 11. & quelqu'un des vaisseaux de verre dont nous avons parlé ; au fond de la lanterne est fixée une poulie *O*, qui renvoye un bout de chaîne du piston à la tige *N*, de sorte que cette piéce étant placée sur le trépied dans

la cuvette, le jeu des leviers fait mouvoir le piſton dans une direction horizontale.

La cuvette *A B* eſt doublée de plomb; les piéces qui ſont en fer, ſont vernies; celles qui ſe joignent à vis, ont des anneaux de cuirs gras interpoſés; le piſton eſt le plus libre qu'il eſt poſſible; & les poids *L* & *M*, ſont deux petits ſeaux ou deux baſſins de balances, que l'on peut charger plus ou moins; & l'on a pratiqué en *K* une eſpéce de robinet pour l'écoulement de l'eau.

EFFETS.

Si l'on remplit d'eau le vaiſſeau cylindrique, quand il eſt monté à la machine, comme on le voit par la *Figure* 10. & que les poids *L*, *M*, ſoient tels, qu'ils enlévent à peine le piſton; le même effet ſubſiſte, quoiqu'on ſubſtitue à ce vaiſſeau ceux des *Figures* 12 & 13. dont les capacités ſont très-différentes.

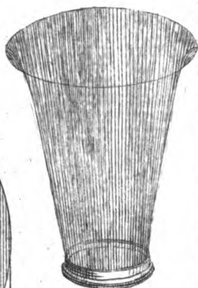
Les mêmes poids ſont encore néceſſaires & ſuffiſans, ſi l'on place ſur le trépied les piéces qui ſont repréſentées par la *Figure* 14. & que l'on

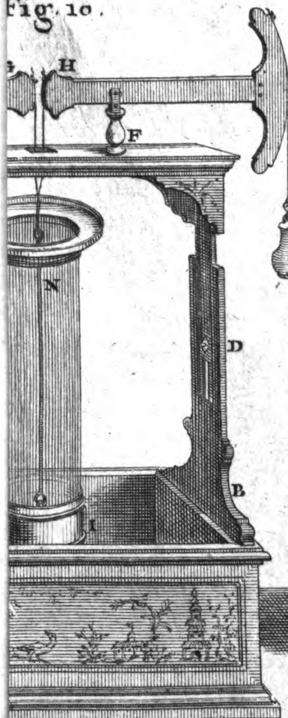
mette de l'eau à la même hauteur que dans les expériences précédentes, à compter du dessous de la petite poulie de renvoi *O*.

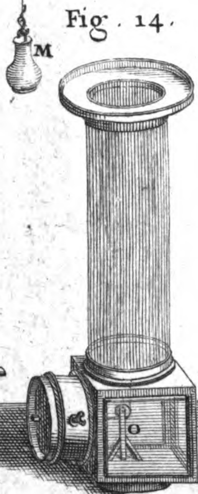
EXPLICATIONS.

Pour mouvoir le piston de bas en-haut, il y a deux sortes de résistances à vaincre ; sçavoir, celle de son frottement dans le cylindre, & celle du poids de l'eau. La premiére ne doit point varier quand on fait les expériences de suite, puisque c'est le même piston & le même cylindre. Si l'on n'est point obligé d'augmenter, & qu'on ne puisse pas non plus diminuer les poids, lorsqu'on employe le plus grand ou le plus petit des trois vaisseaux, pourvû que l'eau soit toujours à même hauteur ; c'est donc que les liquides, comme nous l'avons énoncé dans notre proposition, ne pésent pas sur le fond de leur vase en raison de la quantité, mais selon la largeur de ce fond, & leur hauteur perpendiculaire.

Et puisqu'il faut pour tirer le piston horizontalement, autant de force que pour soulever la même quan-


Fig. 13.


Fig. 10.
H
F
N
D
B
I


M
Fig. 14.
O

tité d'eau dans une direction verticale, c'est une preuve que la pression latérale des liqueurs équivaut à celle qui se fait perpendiculairement à même hauteur.

Ces faits, tout surprenans qu'ils paroissent, sont incontestablement prouvés par les expériences que nous venons de rapporter ; mais ils ne sont point expliqués. S'il est utile de les sçavoir, il n'est pas moins curieux d'en connoître la cause, & c'est pour tâcher de la dévoiler, que nous allons examiner comment la chose se passe dans chacun des vaisseaux ; commençons par le plus simple.

La masse cylindrique d'eau qui est dans le vaisseau *IKN*, peut être considérée de deux maniéres, ou comme un faisseau de petites colonnes contenues sous une enveloppe commune, ou comme des tranches orbiculaires posées en pile les unes sur les autres ; voyez la *Fig.* 15. de quelque façon qu'on la considére, il est évident que la base *a b* est chargée de la somme totale, ou des colonnes ou des tranches, & que si l'on connoît seulement le poids d'u-

la pression en *p* & en *q* ne peut jamais égaler celle qui se fait en *n*.

Il faut convenir aussi que cette égalité n'est pas démontrée à la rigueur; mais l'expérience n'y laisse appercevoir aucune différence, & l'on concevra que celle qui peut y être, est infiniment petite, si l'on fait attention à ces deux choses: 1°. Que les molécules des corps liquides sont très-petites. 2°. Qu'elles ne se touchent point d'aussi près, que quand les causes de la liquidité viennent à cesser: avec ces deux principes, je crois qu'on peut rendre raison du fait en question. Car ces parties des liquides étant infiniment petites, quand bien même elles ne seroient qu'infiniment peu écartées les unes des autres, l'action d'une de ces particules poussée entre deux autres, devient infiniment peu oblique, c'est-à-dire, presque directe; voyez la *Fig.* 18. Ce qui rend cette idée fort probable, c'est que la pression latérale, qui ne différe pas sensiblement de la pression perpendiculaire dans les liqueurs, est notablement moins grande dans les flui-

des grossiers, comme le sable, les menus grains, le plomb à giboyer, &c. & qu'elle diminue & cesse entiérement dans les matiéres qui passent de l'état de liqueur, à celui de corps solides. Ce qui n'arrive, sans doute, que parce que les parties se rapprochent, se pelotonnent en molécules plus grossiéres, & qu'au lieu de continuer d'agir les unes sur les autres, comme le globule 1 sur les deux qu'il touche, elles exercent une action plus oblique, comme le globule 2.

APPLICATIONS.

Les expériences que nous venons d'expliquer, nous conduisent naturellement à dire quelque chose des pompes; ce sont de toutes les machines hydrauliques, celles dont l'usage est le plus fréquent & le plus généralement utile: il est à propos d'en connoître au moins les principales parties, les principes sur lesquels on doit régler leurs dimensions, & comment la force qu'on employe, s'applique par leur moyen à vaincre la résistance du fluide qu'on éléve,

afin de n'être point la dupe de son imagination, ou des fausses promesses de certaines gens, dont le génie naturel n'est point assez éclairé par les lumiéres de la théorie.

Les principales parties des pompes, sont pour l'ordinaire des cylindres creux *A B*, ou *C D*, *Fig.* 19. faits le plus souvent de métal; des pistons *E*, *F*, qui remplissent une portion du cylindre, & que l'on y fait mouvoir alternativement d'un bout à l'autre par le moyen d'une tige *G* ou *H*, au bout de laquelle on applique le moteur immédiatement, ou bien à l'aide d'un levier *I*, ou de quelque autre machine; des tuyaux montans comme *K*, *L*, pour conduire l'eau à la hauteur qu'on désire; & enfin des *valvules*, *soupapes*, ou *clapets*, qui laissent passer l'eau dans un sens & qui l'empêchent de revenir en sens contraire, comme on le peut voir à chaque fond des deux cylindres *B* ou *D*.

On peut distinguer en général deux sortes de pompes, composées des parties que nous venons de nommer; sçavoir, celles qu'on appelle *af-*

pirantes, & celles qui se nomment *foulantes*; nous ne dirons rien ici des premiéres, parce que pour les entendre il faut connoître quelques propriétés de l'air, dont nous n'avons point encore parlé; il ne s'agit donc maintenant que des derniéres, de celles où le piston pousse immédiatement l'eau de haut-en-bas, ou de bas-en-haut.

Dans le cylindre *AB*, par exemple, lorsqu'on éléve le piston de *B* vers *A*, il laisse un vuide entre lui & le fond de la pompe, & l'eau du bassin dans lequel elle est plongée, s'y éléve par la pression des colonnes voisines, comme dans les tuyaux de la *Fig.* 5. & par une autre cause, que nous ferons bien-tôt connoître; lorsqu'ensuite on vient à baisser le piston, l'eau retenue par un clapet qui est au fond du cylindre, passe à travers le corps même du piston où l'on a pratiqué un canal, & un autre clapet en-dessus, pour l'empêcher de retomber; ainsi quand on éléve le piston pour la seconde fois, le dessous s'emplit de nouveau, & l'eau qui étoit passée au-dessus, est portée plus

haut ; en continuant ainſi, l'on parvient à remplir le tuyau montant, & ce qu'on fait après, eſt autant d'eau dont on peut diſpoſer. Dans l'autre pompe *C D*, dont le corps eſt entiérement plongé, l'eau tombe d'elle-même, & paſſe à travers du piſton, pour remplir l'eſpace qu'il laiſſe vuide quand on l'éléve ; & lorſqu'on vient à le preſſer en en-bas, le trou ſe bouche par un clapet qui eſt à ſa baſe, & l'eau eſt obligée de paſſer dans le tuyau *K*, d'où elle ne peut retomber, parce qu'il y a en bas une autre ſoupape qui la retient. En réitérant donc les coups de piſton, ce tuyau montant ſe remplit, & fournit enſuite de l'eau à la hauteur où il finit.

Dans l'une & dans l'autre de ces deux machines, il eſt facile d'évaluer la réſiſtance qui vient du poids de l'eau qu'on éléve ; car ſelon les principes établis ci-deſſus, & les expériences que nous avons employées pour les prouver, quelque forme que prenne la colonne du fluide, on aura ſa juſte valeur, en multipliant la largeur de ſa baſe ; qui eſt celle du piſton même, par la hauteur perpen-

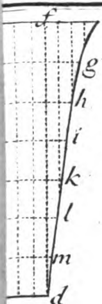


Fig. 17.

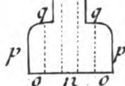


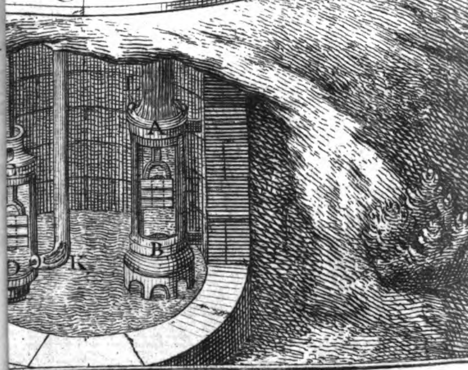
Fig. 18.







Fig. 19.



diculaire du tuyau montant. Dans l'une de nos deux pompes la colomne d'eau repose sur le piston que l'on tire, dans l'autre elle résiste au piston que l'on pousse, & c'est précisément la même chose, quant à la force qu'il faut employer. En supposant donc un piston de telle largeur, que la colonne d'eau, dont il est la base, pése 20 livres par pied, le tuyau montant, ne fût-il que d'un pouce de diamétre, s'il a 20 pieds de haut, la somme de la charge contre le piston sera 400, produit de 20 multiplié par 20, comme si la colonne d'eau étoit dans toute sa longueur d'un diamétre égal à celui de sa base.

On ne gagne donc rien, comme l'on voit, à faire des tuyaux menus pour conduire l'eau d'une pompe; on y perd au contraire par l'augmentation des frottemens; car nous avons fait voir dans la troisiéme leçon*, que cette espéce de résistance, toutes choses égales d'ailleurs, croît comme les surfaces, & que la superficie intérieure d'un petit tuyau, par rapport à la solidité du contenu, excéde celle d'un plus gros.

*Pag. 251.

Puiſqu'une colonne de liqueur fort menue peut exercer une grande preſſion, lorſqu'elle aboutit à une large baſe, on ne doit pas s'étonner que quelques pintes d'eau faſſent crever un tonneau plein, quand on les éléve perpendiculairement ſur le trou de la bonde dans un tuyau fort long : car alors cette colonne ayant la largeur du tonneau pour baſe, elle a la même force, que ſi dans toute ſa longueur elle avoit cette même largeur. Mais ceux qui ſeroient curieux de répéter cette expérience, doivent être avertis que les tonneaux ordinaires, dans leſquels on met le vin à Paris & aux environs, ſont capables d'une réſiſtance beaucoup plus grande qu'on ne le pourroit croire ; 20 pieds de tuyaux ne m'ont quelquefois point réuſſi pour faire crever un demi-muid ; le muid créve plutôt, parce qu'il fournit une plus large baſe.

Les écoulemens qui ſe font de vaiſſeaux percés au-deſſous de la ſuperficie de la liqueur, à ouvertures égales, ont d'autant plus de vîteſſe, que la liqueur eſt plus haute au-deſſus du trou, parce que la partie du fluide qui

qui s'écoule actuellement, est pressée par le poids d'une colonne plus longue ; c'est pourquoi les jets d'eau s'élévent & dépensent d'autant plus, que leurs réservoirs sont plus hauts ; & la hauteur du jet diminue aussi à mesure que ces réservoirs se vuident. De-là vient encore qu'un vaisseau dont la capacité est uniforme, comme un cylindre, un prisme, &c. posé sur sa base, ne se vuide point également en tems égaux, si l'écoulement se fait par en-bas. Les quantités pour chaque tems vont en diminuant, comme la hauteur de la superficie du liquide qui s'écoule ; c'est par cette raison que dans les réservoirs publics, où l'eau se distribue selon les concessions faites aux particuliers, on doit avoir soin que le bassin d'où elle part, soit toujours également plein.

Avant que l'horlogerie fût aussi parfaite, & d'un usage aussi commun qu'elle l'est présentement, on étoit fort dans l'usage de mesurer le tems, par l'écoulement de quelque liqueur, ou de quelque fluide ; la *clepsydre* & le *sable* ne sont autre chose que des vaisseaux dont une partie se vuide d'eau,

ou de quelque poudre fine, pendant un certain tems; mais ces sortes d'instrumens ne peuvent jamais être bien parfaits, parce qu'en général la vitesse des écoulemens dépend non-seulement de la hauteur perpendiculaire du fluide, qui est ce que nous avons principalement en vûe ici, & qu'on peut aisément mesurer, mais encore de la quantité des frottemens, du degré de fluidité & de densité, qui sont variables, & qu'il est difficile d'évaluer.

II. SECTION.

De la pésanteur & de l'équilibre de plusieurs Liqueurs, dont les densités sont différentes.

NOUS avons donné au commencement de la premiére section une idée des liqueurs en général, en les représentant comme un amas de petits corps solides, très-durs, indépendans les uns des autres, pésans séparément & à proportion de leurs petites masses; tout ce que nous

avons à ajouter à cette description, pour faire entendre comment se comportent dans le même vaisseau deux liqueurs de densités différentes; c'est que ces petits corps qui les composent, sont eux-mêmes des assemblages de parties plus subtiles, fortement liées & adhérentes entr'elles; la densité de ces petites masses étant plus ou moins grande, leurs figures & leurs grandeurs occasionnant plus ou moins de vuide dans leur assemblage, on conçoit bien qu'il en doit résulter des fluides ou des liqueurs plus ou moins denses.

Quand on compare plusieurs liqueurs par rapport à leur poids, ou la comparaison se fait entre des volumes d'une grandeur sensible, comme lorsqu'on pése de l'eau contre de l'huile, ou contre du mercure, dans des vaisseaux séparés; ou bien ce sont les parties mêmes que l'on compare ensemble, comme lorsqu'on mêle de l'eau avec du vin, ou avec de l'air: de quelque façon que cela se fasse, la pésanteur exerce ses droits comme ailleurs; mais la fluidité donne lieu à des effets particuliers que nous allons examiner.

PREMIERE PROPOSITION.

La différence du poids, ou de la densité, suffit pour séparer les parties de deux liqueurs qu'on a mêlées ensemble, si d'autres causes plus fortes n'empêchent cet effet.

PREMIERE EXPERIENCE.

PREPARATION.

Dans un vase de verre divisé en deux parties, qui communiquent par un petit canal d'une ligne & demie de diamétre, *Fig.* 20. il faut mettre d'abord du vin rouge jusqu'en *A*, & achever de l'emplir avec de l'eau, & l'exposer en quelque endroit où il ne soit point agité.

EFFETS.

De l'extrémité du canal *A* on voit aussi-tôt s'élever une petite colonne de vin, qui se répand ensuite sur la superficie de l'eau; & peu-à-peu tout le vin passe ainsi à la place de l'eau, & celle-ci à la place du vin.

EXPLICATIONS.

Les particules qui composent la masse d'eau, étant plus pésantes que celles du vin, font plus d'effort pour occuper le fond du vase, que celles-ci n'ont de force pour leur résister; de-là il arrive qu'une colonne d'eau, capable d'occuper à-peu-près la moitié du canal *A*, prend son cours de haut-en-bas, & qu'une pareille quantité de vin s'éléve en même-tems de bas-en-haut: & comme ces colonnes d'eau & de vin, à mesure qu'elles passent, se réparent continuellement aux dépens de la masse dont elles sont partie, à cause de sa fluidité; il arrive enfin que toute l'eau se trouve où étoit le vin avant l'expérience, & que le vin est obligé d'occuper la partie du vase la plus élevée: parce que deux corps ne peuvent pas être en même-tems dans le même lieu, comme nous l'avons fait voir dans la troisiéme Leçon *, en parlant de l'impénétrabilité de la matiére.

* 3. sect. p. 71. & s.

II. EXPERIENCE.

Preparation.

La phiole cylindrique qui eſt repréſentée par la *Fig.* 21. contient 5 fluides différens ; ſçavoir, 1. du mercure, 2. de l'huile de tartre, 3. de l'eſprit de vin, 4. de l'eſprit de térébenthine, 5. & de l'air.

Effets.

Quand le vaſe eſt en repos, toutes ces matiéres occupent les places qui conviennent à leur péſanteur ſpécifique ; c'eſt-à-dire, que le mercure ſe tient au fond, l'huile de tartre immédiatement au-deſſus, après celle-ci l'eſprit-de-vin, l'eſprit de térébenthine enſuite, l'air au-deſſus de tout ; & ſi l'on renverſe pluſieurs fois la phiole en l'agitant, dès qu'on la repoſe, chacune de ces liqueurs reprend ſa place, mais le mercure & l'huile de tartre plus promptement que les autres.

Explications.

Ces cinq fluides différent plus entr'eux, que le vin & l'eau de l'expé-

rience précédente, non-seulement par leurs pésanteurs spécifiques, mais encore par leur nature ; ce qui fait, sans doute, qu'en les agitant ensemble, ils ne se divisent point, & ne se mêlent point autant que d'autres liqueurs qui seroient plus analogues ; c'est par la même raison, que le mercure & l'huile de tartre se démêlent plus vîte que les autres.

APPLICATIONS.

Les vaisseaux propres à exécuter ces sortes d'expériences, peuvent recevoir différentes formes, & se disposer de diverses maniéres. On peut, par exemple, cacher la capacité inférieure qui contient le vin de la premiére expérience, dans un petit pied-d'estal, ou autrement, *B*, *Fig*. 20. en ne laissant ainsi appercevoir que la partie du vase où l'on met l'eau, il semble à ceux qui ne connoissent point ces effets, que l'eau se change en vin ; c'est ainsi que l'on trompe quelquefois les yeux par de petits artifices, qui perdent tout leur merveilleux quand on en connoît les causes. Nous n'en parlons que pour ap-

prendre à suspendre son jugement dans les choses que l'on ne conçoit pas d'abord, & à ne pas regarder comme surnaturels des effets qui surprennent, & dont la cause physique ne s'apperçoit pas.

Les matiéres grasses, animales, végétales ou minérales, étant pour l'ordinaire composées de molécules moins denses que celles de l'eau, s'en dégagent lorsqu'elles y sont mêlées, & le plus souvent l'on n'employe pas d'autre moyen pour les en séparer, que de leur donner le tems de surnager; c'est ainsi qu'on sépare la crême du lait.

On voit souvent des eaux croupies, à la superficie desquelles on remarque des taches luisantes, qui font paroître des couleurs d'iris quand on les regarde dans certains sens; ce sont des parties grasses, ou sulfureuses, qui se sont élevées du fond, comme il arrive dans les terrains bitumineux; ou qui se sont démêlées de l'intérieur de l'eau, ce qui ne manque guéres d'arriver dans les bassins où l'on va laver le linge. Mais si une goute d'huile, une parcelle de graisse, s'éléve

léve au-dessus de l'eau, la même chose doit arriver, & arrive en effet, quand il y en a une plus grande quantité ; ainsi plus un animal est gras, toutes choses égales d'ailleurs, plus il a d'avantage pour nager. Un boeuf, ou un cochon, à cet égard, court donc moins de risque de se noyer, qu'un lévrier, ou tout autre animal maigre.

Nous pourrions encore citer ici pour exemple, l'ascension des vapeurs & des exhalaisons ; mais nous avons prévenu cette application, en faisant connoître dans la leçon précédente, que la fumée & la flamme ne s'élévent dans l'air que par une légéreté respective, qui n'est, à proprement parler, qu'une moindre pésanteur, comme l'air s'éléve dans l'huile, l'huile dans l'eau, l'eau dans le mercure.

Quoiqu'une liqueur plus légére soit capable de s'élever au travers d'une liqueur plus pésante, il y a pourtant telle circonstance où cet effet n'a point lieu. L'eau & le vin, par exemple, que nous avons employés dans notre premiére expérience, ne se séparent point, quand on les a versés brusquement l'un sur l'autre. L'hui-

le & l'eau battues ensemble avec l'air qui s'y mêle, perdent leur fluidité, le blanc d'œuf & la crême fouettée font la même chose, & ces sortes de mélanges subsistent assez long-tems.

Tous ces exemples prouvent seulement, qu'il y a des causes qui s'opposent aux effets de la pésanteur dans la séparation des fluides mêlés, & que ces causes peuvent devenir prédominantes; mais elles ne détruisent point notre proposition. Il faut se souvenir ici de ce que nous avons dit des frottemens dans la troisiéme leçon. Cette sorte de résistance s'augmentant comme les surfaces, les liqueurs mêlées peuvent être divisées en si petits volumes, que l'une touche l'autre par trop d'endroits, & que la différence de leurs pésanteurs, qui seroit la cause de leur désunion, n'égale pas le frottement, ou (ce qui est la même chose) la difficulté qu'elles ont à se séparer. C'est par cette raison que le vin, presque aussi pésant que l'eau par lui-même, quand il est fort divisé par une chûte trop brusque, demeure dans l'eau comme il s'y trouve; au lieu que si par la forme

du vase, ou par la façon de le verser, on met en opposition des volumes plus considérables, & qui ayent moins de surface par rapport à leur solidité, il arrive le plus souvent que le frottement céde à la pésanteur de l'eau. C'est encore par la raison des frottemens augmentés par la division des parties, que l'huile & le vin deviennent *onguent*, que le blanc d'œuf, la crême, &c. demeurent en mousse; car l'air y est si divisé, & son mélange avec ces liquides est si intime, que sa légéreté ne suffit plus pour l'en dégager. Ajoutez à ces raisons deux autres causes qui rendent encore la séparation des parties difficiles; c'est la viscosité qui est plus ou moins grande dans une matiére que dans une autre, mais dont aucune n'est parfaitement exempte; & l'analogie qui se trouve souvent entre deux liqueurs, & qui consiste vraisemblablement dans une certaine convenance de figures, de grandeur, ou de surface. L'esprit-de-vin mêlé avec l'eau ne s'en sépare plus; & l'huile de térébenthine, qui n'est guéres plus légére, ne fait pas la même chose.

II. PROPOSITION.

Plusieurs liqueurs ou plusieurs fluides, quoique de natures différentes, pésent les uns sur les autres en raison de leurs densités & de leur hauteur.

Cette proposition n'a besoin ni d'explication, ni de preuves; car si toute liqueur est pésante, par la raison seule qu'elle est matiére, ajouter une liqueur sur une autre, c'est ajouter un poids à un autre poids, & quand l'un des deux seroit plus petit que l'autre, il n'a pas moins une valeur réelle qui doit être comptée dans la somme. Si l'on a dessein de charger le fond d'un vaisseau cylindrique de deux livres de liqueur, & qu'on commence par y verser une livre d'eau, on pourra certainement achever la charge avec de l'huile; celle-ci étant moins pésante, il en faudra un plus grand volume, mais son poids ne contribuera pas moins à la pression qu'on s'est proposée.

III. PROPOSITION.

Deux liqueurs de densités différentes sont en équilibre, lorsqu'ayant la même

base, leurs hauteurs perpendiculaires à l'horizon sont en raison réciproque de leurs densités ou pésanteurs spécifiques.

III. EXPERIENCE.

Preparation.

E C D, *Fig.* 22. est un scyphon renversé, dans lequel on verse du mercure, jusqu'à ce que la surface de part & d'autre soit d'une demi-graduation plus élevée que la ligne *C D*; après quoi l'on verse de l'eau colorée dans la branche *C E*.

Effets.

Lorsque la colonne d'eau mesure 14 graduations, le mercure se trouve d'une graduation plus élevé dans la branche *D*, que dans l'autre.

Explications.

Le mercure chargé d'un côté par la colonne d'eau, s'éléve dans l'autre branche jusqu'à ce qu'il soit en équilibre avec la liqueur qui le presse; quand il cesse de monter, sa hauteur au-dessus de son niveau égale la quatorziéme partie de celle de l'eau, &

l'on ſçait d'ailleurs que le poids de l'eau eſt à celui du mercure, comme 1 eſt à 14; il eſt donc évident que les hauteurs de ces deux liqueurs en équilibre, ſont en raiſon réciproque des denſités, puiſque l'eau ſe tient 14 fois auſſi haute, comme le mercure eſt 14 fois auſſi péſant.

APPLICATIONS.

La propoſition que nous venons de prouver, étant une fois reconnue pour vraie, il ſera aiſé de connoître le rapport de denſités de pluſieurs liqueurs, en comparant ainſi leurs hauteurs lorſqu'elles ſeront en équilibre; car on conçoit bien qu'au lieu de mercure on pourroit mettre avec l'eau toute autre matiére liquide, comme de l'huile, de l'eſprit de vin, &c. & qu'on jugeroit de même par leur hauteur au-deſſus du niveau, de combien l'une ſeroit plus ou moins péſante que l'autre.

Comme on peut juger des denſités par la comparaiſon des hauteurs, on pourroit auſſi par l'élévation de la plus péſante des deux liqueurs, ſi l'on connoiſſoit les denſités, eſtimer

la hauteur de la plus légére en tel cas où l'on ne pourroit la meſurer. Si, par exemple, un plongeur avoit au fond de l'eau un ſcyphon renverſé avec du mercure, ſur lequel la preſſion de l'eau agît ſeule, & ſeulement par une des deux branches, dès qu'il verroit le mercure élevé d'un pied, il pourroit conclure en toute ſûreté que la colonne d'eau qui preſſe, a 14 pieds de hauteur.

Nous ſommes ſur la terre comme les poiſſons qui rampent au fond de la mer, plongés dans un vaſte fluide qui nous environne de toutes parts, & dont nous ne ſçavons pas au juſte la hauteur : accoutumés dès l'inſtant de notre naiſſance à la preſſion de l'air qui eſt égale & uniforme ſur toute l'étendue de nos corps, nous ne la ſentons point, parce qu'elle eſt continuelle; car ſentir n'eſt autre choſe que juger de notre état actuel, par comparaiſon à un autre qui a précédé : une ſenſation qui n'eſt jamais interrompue, à proprement parler, n'en eſt pas une. Auſſi la connoiſſance de la péſanteur de l'air eſt-elle une découverte qui a encore tout le goût

de la nouveauté. Il y a à peine un siécle que l'on compte sur la pression de ce fluide ; avant ce tems-là bien loin de le croire pésant, plusieurs Philosophes l'avoient mis au rang des matiéres à qui ils attribuoient une légéreté absolue.

Ce n'est pas que la nature n'eût parlé par des faits qui avoient fixé l'attention des Sçavans ; mais ce qu'elle avoit dit avoit été mal interprété. On avoit vû avec admiration, l'eau s'élever au-dessus de son niveau dans les pompes aspirantes, on avoit remarqué que le piston d'une seringue ne pouvoit se tirer qu'à grande force, quand elle étoit bouchée par le bout. On voyoit avec surprise qu'un soufflet n'avoit son jeu libre, qu'autant qu'il étoit ouvert par son canon, que deux corps durs & polis comme le marbre appliqués l'un à l'autre se séparoient très-difficilement, &c. « Mais c'est, disoit-on, que la na» ture a un amour secret pour le » plein ; dès qu'il y a quelque part » défaut de matiére, elle s'empresse » d'y en porter ; en un mot, *la nature* » *abhorre le vuide.* »

Ces mauvaiſes raiſons ſi peu reſpectables, mais pourtant trop reſpectées dans des tems où la raiſon cédoit à l'autorité d'un nom célébre, ont retardé long-tems les progrès de la Phyſique. Galilée ſe paya comme les autres de l'horreur du vuide, tant qu'il n'en vit point les bornes; mais s'étant aſſuré par des épreuves, que l'eau ne montoit qu'à trente-deux pieds dans les pompes aſpirantes, & que le reſte du tuyau, s'il étoit plus long, demeuroit vuide, ſe révolta enfin contre cette maniére de philoſopher; & bien loin de penſer, comme auroit pû faire quelqu'autre, que l'horreur du vuide avoit ſes limites au-delà deſquelles elle ſe tournoit en indifférence, il commença à croire que ces ſortes de phénoménes avoient une cauſe phyſique bien différente de ce qu'on avoit imaginé juſqu'alors pour les expliquer. Ce qu'il avoit ſoupçonné, Toricelli ſon diſciple le mit en évidence. Ce Philoſophe Italien fit voir le premier en 1643, qu'une colonne d'air priſe dans l'atmoſphére, ſe met en équilibre avec une colonne d'un autre

fluide qui a la même base. Cette expérience que nous allons répéter, prouva invinciblement la pésanteur de l'air, & restitua authentiquement à ce fluide un très-grand nombre d'effets naturels que l'on avoit attribués jusqu'alors à une cause purement chimérique.

PROPOSITION.

L'air est un fluide pésant, & qui exerce sa pression dans tous les sens à la maniére des liqueurs.

Quoique nous ayons résolu de traiter à part des propriétés de l'air, nous avons crû qu'il étoit à propos de placer ici ce qui regarde sa pésanteur, parce que c'est une dépendance de l'hydrostatique. Ce que l'air opére en qualité de fluide pésant, il le fait en conséquence des principes de cette science, & nous ne faisons mention de lui en particulier, que parce que sa gravité est une des plus curieuses & importantes découvertes que l'on ait faites dans ces derniers tems. Mais nous n'y parlerons que de sa pésanteur relative, remettant à traiter avec ses autres proprié-

tés de sa pésanteur absolue, en répétant les expériences qui la prouvent *à priori*.

IV. EXPERIENCE.

PREPARATION.

On fait couler du mercure bien net dans un tube de verre qui a environ 3 pieds de longueur, & qui est fermé par un bout. Quand le tube est entiérement plein, on met le doigt dessus l'orifice pour le boucher, & après l'avoir renversé, on porte le bout qui est fermé avec le doigt, dans un vase qui contient du mercure, & l'on ôte le doigt. Voyez la *Figure* 23.

EFFETS.

Le tube ainsi plongé & ouvert par en-bas, se vuide en partie dans le vase; mais il y reste une colonne de mercure qui a environ 27 pouces $\frac{1}{2}$ de hauteur.

EXPLICATION.

L'air étant une matiére, a comme tous les autres corps une gravité qui

a pour centre celui de la terre même ; un corps grave, comme nous l'avons vû précédemment, agit par son poids sur tout ce qui s'oppose à sa chûte, ou qui lui sert de base ; ainsi quand une colonne d'air de l'atmosphére repose sur quelque corps, elle le comprime selon toute la valeur de son poids. La superficie du mercure dans le vase de notre expérience, est donc comprimée par le poids d'une colonne d'air, dont elle est la base ; lorsqu'on applique à quelque endroit de cette superficie comprimée, un tuyau qui contient une colonne de mercure plus pésante que la colonne d'air dont sa base occupe la place, elle s'enfonce, & s'abbaisse jusqu'à ce que sa hauteur diminuée, mette son poids en équilibre avec la pression qui s'exerce sur toutes les parties semblables de la surface du mercure où le tube est plongé.

Cette expérience seule, aux yeux d'un homme entêté de l'horreur du vuide, n'eût guéres eu plus de force que l'observation de Galilée sur l'impuissance des pompes aspirantes au-

dessus de 32 pieds ; il se seroit encore fait illusion en limitant l'amour de la nature pour le plein ; mais quel subterfuge peut-il rester quand on compare l'un & l'autre fait ? Quand on voit que les colonnes de liqueurs élevées ainsi au-dessus de leur niveau, diminuent comme leurs densités augmentent ; quand on est assuré que la cause qui éléve l'eau à 32 pieds, ne peut soutenir le mercure qu'à 27 pouces $\frac{1}{2}$, & que l'on sçait d'ailleurs que ces deux colonnes si différentes en longueurs, ont des poids parfaitement égaux, n'est-on pas forcé de reconnoître que la cause de leur suspension n'est point une qualité abstraite, puisqu'elle se rapporte avec tant d'exactitude aux loix de la statique ? En un mot, cet effet n'a-t-il pas tout l'air d'un équilibre ? C'est aussi le jugement qu'en porta Toricelli, & qu'en portérent après lui la plûpart des Physiciens qui eurent connoissance de cette belle & curieuse expérience. Mais personne ne contribua davantage à découvrir & à faire connoître la pésanteur de l'air, que M. Paschal ; il

avoit employé l'horreur du vuide ; comme un langage reçû ; mais il l'avoit fait, de même que Galilée, avec toute la répugnance que peut sentir à s'exprimer obscurément, un génie que la nature a formé pour ne recevoir & ne transmettre que des idées claires & distinctes. Il entra avec toute l'ardeur & la sagacité dont il étoit capable, dans les vûes de Toricelli ; & tant par lui-même que par les soins de M. Perrier son beau-frere, qui étoit à Clermont en Auvergne, & qui pouvoit tirer avantage d'une haute montagne connue sous le nom du *Puy de Dôme*, il mit dans la derniére évidence, ce que la colonne de mercure suspendue au-dessus de son réservoir, indiquoit déja d'une maniére assez décisive, à ceux qui avoient abjuré les qualités occultes, & qui ne vouloient plus admettre que des causes méchaniques pour expliquer les effets naturels.

Voici la méthode que suivit M. Paschal, pour s'assurer si la suspension des liqueurs au-dessus de leur niveau dans les pompes aspirantes ; ou dans le tube de Toricelli, étoit

un fait d'équilibre, & si la puissance opposée au poids du mercure, étoit véritablement une colonne d'air prise dans l'atmosphére, comme il y avoit toute apparence. « Si l'air, dit-il,
» est la cause de ce phénoméne, c'est
» parce qu'il est pésant & fluide; sa
» pression doit donc se faire comme
» celle des liqueurs; elle doit diminuer
» ou augmenter selon sa hauteur; &
» les colonnes de liqueur avec les-
» quelles on le mettra en équilibre,
» seront toujours plus ou moins lon-
» gues, selon qu'elles seront plus ou
» moins denses; voyons ce que dira
» l'expérience. »

Quelqu'étendue que puisse avoir l'atmosphére au-dessus de la surface de la terre, on ne peut guéres se dispenser de croire qu'elle forme autour du globe une enveloppe, dont la superficie est uniforme & sphérique, à peu près comme celle de l'eau paroît plane, quelque figure qu'ait le fond du vase qui la contient. Dans cette supposition, les colonnes d'air, à compter de l'extrémité de l'atmosphére jusqu'à l'endroit où elles rencontrent la terre, sont plus ou

moins longues, ſelon le plus ou le moins d'élévation du lieu où elles aboutiſſent; elles ont donc plus de longueur au-bas d'une montagne, & elles en ont moins au ſommet; ſi l'air eſt péſant, ces colonnes dans un lieu bas, doivent faire une plus grande preſſion que dans un lieu plus élevé.

M. Perrier ayant remarqué à quelle hauteur étoit le mercure dans le tube de Toricelli, au pied du Puy de Dôme, trouva qu'il baiſſoit de plus en plus & conſtamment, à meſure qu'il s'avançoit vers le haut de la montagne, & qu'il remontoit au contraire, & ſuivant les mêmes proportions, à meſure qu'il deſcendoit vers la ville; & cette expérience imaginée par M. Paſchal, & réitérée pluſieurs fois ſelon ſes intentions, a toujours donné le même réſultat; on a donc conclu dès-lors que le mercure ſe ſoutient au-deſſus de ſon niveau dans le tube de Toricelli, par la preſſion de l'air ſur le réſervoir, parce qu'on voyoit baiſſer le mercure dans le tube, lorſque la colonne qui répondoit à ce réſervoir devenoit moins longue.

Mais

Mais si la pression de l'air sur le réservoir soutenoit 27 pouces $\frac{1}{2}$ de mercure dans le tube, il falloit que cette colonne ainsi suspendue, ne fût aucunement soumise au poids de l'air par sa partie supérieure; car alors étant entre deux pressions égales, elle doit tomber à son niveau par son propre poids. C'est aussi ce qui arrive si l'on ouvre le bout du tube par le moindre petit trou; & pour faire voir par une même expérience qu'il est également nécessaire que l'air agisse sur la surface du réservoir, & qu'il n'agisse qu'en cet endroit, pour soutenir la colonne de mercure au-dessus de son niveau, M. Paschal imagina l'expérience qui suit.

V. EXPERIENCE.

PREPARATION.

FG, *Fig.* 24 est un tuyau de verre doublement recourbé en *H*, ayant environ 30 pouces de *G* en *K*, & autant de *H* en *F*. *K* est un petit canal ouvert qui communique avec l'intérieur du tube, & que l'on bouche avec un morceau de vessie mouil-

lée. On emplit tout le tuyau de mercure, & on le plonge dans le réservoir comme celui de Toricelli.

EFFETS.

1°. Le mercure descend en *I*, & se fixe à 27 pouces $\frac{1}{2}$ ou environ au-dessus du niveau. 2°. Si l'on pique avec une épingle la vessie qui bouche l'orifice *K*, aussi-tôt l'air y entre, & le mercure contenu depuis *I* jusqu'en *G*, tombe dans le réservoir; & celui qui est contenu dans le renflement *H*, s'éléve à peu près à la hauteur de 27 pouces $\frac{1}{2}$.

EXPLICATION.

Il paroît par cette expérience, 1°. que l'air est la cause de ces deux effets, puisqu'ils n'ont lieu que quand on pique la vessie. 2°. Que l'élévation du mercure de *G* en *I*, est véritablement causée par la pression de l'air extérieur sur la surface du réservoir, puisque le mercure retombe aussi-tôt que cette pression est contrebalancée par l'introduction d'une colonne d'air en *K*. 3°. Que cette pression de l'air extérieur est bien ca-

pable de soutenir le mercure à 27 pouces $\frac{1}{2}$, puisqu'elle l'éléve à cette hauteur dans la partie *H F*.

Enfin M. Paschal répéta l'expérience de Toricelli avec de l'eau, du vin, de l'huile, &c. & il parut par tous ses résultats, que c'étoit à la pression de l'air qu'on devoit attribuer la suspension de toutes ces liqueurs au-dessus de leur niveau, parce que leurs hauteurs étant toujours plus ou moins grandes dans les tubes, à proportion de leurs différentes densités, il étoit palpable qu'elles se mettoient en équilibre avec un poids qui étoit toujours le même à peu près ; & comme il n'y avoit que l'air qui répondît à leur base, ce fluide s'annonçoit lui-même comme la vraie cause de cet effet.

APPLICATIONS.

L'expérience de Toricelli ne fut pas plutôt connue, que les Physiciens s'empressérent de la répéter, & d'en étudier toutes les circonstances ; chacun d'eux avoit dans son cabinet la colonne de mercure suspendue, & la visitoit souvent. Un

examen aussi assidu ne devoit pas laisser ignorer long-tems les variations qui arrivent à la hauteur du mercure dans le tube ; on s'en apperçut bien-tôt ; & nous voyons par des Lettres de M. Chanut chargé des affaires du Roi de France en Suede, que MM. Descartes, Paschal & Perrier, ne l'ont point ignoré, & que l'on a pensé dès ce tems-là à faire, au moyen de cette expérience, un nouvel instrument météorologique ; on l'a nommé depuis, *barométre*, ou *baroscope*, c'est-à-dire, mesure ou observation de la pésanteur (de l'air). En effet, puisque c'est le poids de l'air qui soutient le mercure dans le tube, lorsqu'il monte plus haut ou qu'il descend plus bas que 27 pouces $\frac{1}{2}$ sa hauteur moyenne, n'a-t-on pas raison de conclure que la pression de l'air est augmentée ou diminuée ? & cette colonne de mercure qui hausse & baisse, n'est-elle pas une indication de la pésanteur actuelle de l'atmosphére ?

Quand le barométre n'auroit que cet avantage, de nous avertir que

le fluide dans lequel nous vivons, agit plus ou moins fortement ſur nos corps, il mériteroit déja d'occuper une place dans nos appartemens, par préférence à tant d'autres meubles ſuperflus ou inutiles ; mais il en a un autre qui le rend encore plus important, il annonce d'avance les changemens de tems, ſur-tout quand ils doivent être conſidérables ; & l'on doit convenir que ces ſortes de prédictions ſont importantes pour les travaux de la campagne, pour les voyageurs, & dans une infinité d'autres circonſtances.

Cette propriété du barométre, eſt conſtatée par les obſervations de près d'un ſiécle, faites en différens pays, & par diverſes perſonnes attentives & exactes : & ſur-tout depuis l'établiſſement des Académies, nous avons des tables d'obſervations météorologiques, par leſquelles il paroît conſtant,

1°. Que la hauteur moyenne du mercure dans le barométre, eſt de 27 pouces $\frac{1}{2}$ en France.

2°. Que le plus grand abbaiſſement ne va pas tout-à-fait à 26 pou-

ces, ni la plus grande élévation à 29.

3°. Que vers l'Equateur, les variations sont moins grandes, & qu'elles le sont plus dans les climats septentrionaux.

4°. Que quand le mercure baisse dans le barométre au-dessous de 27 pouces $\frac{1}{2}$, il annonce de la pluye ou du vent, ou en général ce qu'on appelle mauvais tems.

5°. Qu'au contraire, quand il excéde sa hauteur moyenne, il annonce le calme, le sec, le beau-tems.

6°. Que ces prédictions manquent quelquefois, sur-tout quand les variations de hauteur du mercure se font lentement, & en petite quantité.

7°. Qu'au contraire, elles sont presqu'infaillibles, quand le mercure monte ou descend d'une quantité considérable en peu de tems, comme, par exemple, de 3 ou 4 lignes en quelques heures.

8°. Qu'à Paris il est assez rare que les variations du barométre s'étendent plus loin que de 27 à 28 pouces.

Cette derniére obſervation a fait naître l'envie d'avoir des barométres dont les variations euſſent plus d'étendue, afin que les plus petites puſſent être obſervées ; de-là ſont venus les barométres à deux branches, qu'on a nommés *doubles* par cette raiſon ; les barométres coudés, les barométres raccourcis, &c. dont nous ne donnerons point ici la deſcription, parce qu'ils ſont aſſez connus, & que cette digreſſion nous éloigneroit trop de notre ſujet. Nous dirons ſeulement que de tous les moyens qu'on a imaginés juſqu'à préſent pour perfectionner le barométre, il n'y en a aucun qui ſoit aſſez avantageux, & qui n'ait trop d'inconvéniens, pour mériter qu'on le préfére à celui de Toricelli, c'eſt-à-dire, à celui qu'on nomme communément barométre *ſimple*, & qu'on a repréſenté par la *Fig.* 25.

Mais ce dernier, tout ſimple qu'il eſt, doit être conſtruit avec des attentions que n'ont point ordinairement les Ouvriers qui les vendent. Il faut qu'il ſoit rempli d'un mercure parfaitement pur ; que le tube ait au

moins une ligne ½ de diamétre intérieurement, que le verre en soit parfaitement nét, & qu'il ne reste aucune particule sensible d'air entre le mercure & lui. Il faut encore que le petit vase qui sert de réservoir au bas du tuyau, soit de telle largeur, que la surface du mercure qu'il contient, demeure sensiblement à la même hauteur, pendant que celui du tuyau monte ou descend. On doit aussi avoir attention que l'échelle de graduation soit bien exactement divisée; car ce seroit un défaut considérable, s'il se trouvoit quelques lignes de mécompte sur les 27 pouces ½ de hauteur moyenne, ce qui n'est que trop possible, quand on se contente de coller sur une planche une impression toute divisée, comme on fait le plus souvent.

Si les Physiciens conviennent entre eux, que le mercure du barométre est soutenu à sa hauteur moyenne, par le poids de l'air de l'atmosphére, ils ne sont pas tout-à-fait d'accord sur les variations qu'on y remarque. On sçait bien qu'une plus grande élévation du mercure, dénote une plus

grande

grande pression de la part de l'air ; mais par quelles raisons l'air presse-t-il davantage dans un tems que dans un autre ? & quelle affinité y a-t-il entre cette pression plus ou moins grande, & le changement de tems qui n'arrive quelquefois que 10 ou 12 heures après ? C'est ce que nous examinerons ailleurs, quand nous aurons fait connoître plus amplement les propriétés de l'air, & les différens états de l'atmosphére.

VI. EXPERIENCE.

PREPARATION.

On applique à la superficie d'un vase plein d'eau colorée, un tuyau de verre ouvert par les deux bouts, & l'on succe avec la bouche ou autrement, l'air qu'il contient, *C D*, *Fig.* 20.

EFFETS.

Dès que l'on succe l'air qui est dans le tube, l'eau y monte & le remplit.

EXPLICATIONS.

Puisque l'air est un fluide univer-

tellement répandu sur tous les corps qui sont à la surface de la terre, il faut concevoir l'eau de notre vase comme ayant deux sortes de poids qui la font péser sur le fond; sçavoir, celui qui lui vient de sa propre masse, & celui d'une colonne d'air qui répond à sa surface, & qu'elle soutient. Car nous avons vû ci-dessus que plusieurs liqueurs l'une sur l'autre, exercent leur pésanteur en commun sur le même fond. Supposons maintenant que l'eau soit divisée en un certain nombre de petites colonnes semblables à celle qui répond à l'orifice du tube; chacune de ces colonnes répondra à une colonne d'air semblable en diamétre, & l'on pourra dire d'elle ce que nous venons de dire de la masse totale, qu'elle pése ou qu'elle tend au fond du vase par elle-même, & par le poids de l'air qu'elle porte.

Tant qu'on ne succe pas l'air du tube, toutes les extrémités de ces colonnes d'eau sont dans le même plan, parce qu'étant également pésantes, & également chargées, il n'y a pas de raison qui oblige l'une ou


21.
BAROM.
Simple.
F
Fig. 24.
K
H
I
Fig. 25.
G
C
Fig. 23.
D

l'autre à se tenir ou plus haute, ou plus basse que le reste ; mais si l'une d'entre elles se trouve déchargée du poids de l'air qu'elle portoit, (& c'est l'en décharger que d'ôter l'air du tuyau de verre,) alors cette colonne doit s'élever au-dessus des autres, parce qu'elle n'est plus en état de leur faire équilibre. Et comme la fluidité de la masse ne permet pas que cette colonne ainsi élevée laisse aucun vuide dans le fond, elle se répare continuellement aux dépens des autres qui diminuent de longueur ; & le vaisseau se vuide de cette maniére.

Si la pression de l'air sur la surface de l'eau étoit infinie, on pourroit ainsi avec un tuyau assez long élever l'eau, ou toute autre liqueur, à une hauteur non-limitée. Mais si le poids de l'air n'a qu'une certaine valeur ; quand l'eau sera parvenue à telle hauteur, où son propre poids sera égal à celui de l'air qui la souléve ; on aura beau succer celui du tuyau, la puissance de l'air extérieur épuisée, n'aura plus d'effet au-delà.

VII. EXPERIENCE.

PREPARATION.

Cette expérience se fait de même que la précédente ; mais on se sert de mercure au lieu d'eau, & le tube doit avoir au moins 30 pouces de longueur, & ne pas excéder une ligne de diamétre.

EFFETS.

Le mercure arrivé à 27 pouces $\frac{1}{2}$ ou environ, ne s'éléve pas davantage, quoiqu'on continue de succer l'air du tuyau.

EXPLICATIONS.

Nous n'avons rien à ajouter à l'explication de l'expérience précédente, pour faire entendre celle-ci, sinon que, comme le mercure est beaucoup plus pésant que l'eau, la pésanteur de l'air extérieur qui sert à l'élever, se trouve en équilibre avec une colonne moins longue. S'il y avoit quelque fluide encore plus pésant que le mercure, on le verroit sans doute se fixer encore plus bas.

APPLICATIONS.

Vuider d'air un tuyau en le ſuçant avec la bouche, ou bien en traînant dedans, & de bas en-haut, un bouchon bien exact, c'eſt la même choſe quant à l'effet qui doit s'enſuivre ; c'eſt toujours donner lieu à la preſſion de l'air qui répond au réſervoir, & cela ſuffit pour élever le fluide. C'eſt préciſément ce que l'on voit dans les ſeringues ou pompes aſpirantes ; car le piſton paſſant de bas en-haut du cylindre creux qui le contient, ſouléve la colonne d'air qui péſe ſur ſon plan ſupérieur ; il ſe fait au-deſſous un vuide, où le poids de l'atmoſphére fait monter l'eau, comme dans le tuyau de l'expérience précédente. Voyez la *Fig*. 27.

Mais comme le poids de l'atmoſphére eſt limité, & qu'une colonne d'eau d'environ 32 pieds, lui fait équilibre dans nos climats, & dans les lieux qui ne ſont pas beaucoup élevés au-deſſus du niveau de la mer, on conçoit bien qu'une pompe, telle que celle dont nous parlons, & qu'on nomme *aſpirante*, ne peut point

élever l'eau à toute hauteur. Quand celle-ci ne suffit pas, on employe celles dont nous avons parlé ci-dessus, & que nous avons appellées pompes foulantes. Comme dans ces derniéres la colonne d'eau qu'on éléve est immédiatement portée par le piston, & que ce piston est mené par une puissance que l'on peut augmenter autant que l'on veut, il est évident que l'ascension de l'eau n'est bornée à aucune hauteur.

Si les pompes foulantes ont l'avantage de porter l'eau à toutes sortes de hauteurs, elles n'ont pas celui de pouvoir être placées hors du puits ou du bassin d'où l'on veut tirer l'eau, comme les pompes aspirantes. Et c'est une incommodité très-grande de placer & d'entretenir ces sortes de machines dans des lieux fort profonds, souvent étroits, difficiles à épuiser, & assez ordinairement dans des pays où la disette d'ouvriers intelligens ajoute encore à la difficulté des réparations.

On évite ces inconvéniens, & l'on jouit d'un double avantage, en construisant les pompes de maniére qu'el-

les soient en même tems aspirantes & foulantes, telles que celles qui sont représentées par la *Fig.* 28. Le piston aspire en montant, & foule en descendant. Le tuyau qui conduit l'eau de la source à la pompe, ne peut à la vérité avoir que 32 pieds tout au plus de hauteur perpendiculaire; mais cela suffit souvent pour placer la pompe dans un lieu commodément accessible; & le tuyau montant, qui porte l'eau refoulée, peut avoir autant de longueur que la force motrice le permet.

Quand on employe des pompes aspirantes, il faut avoir égard à la situation du lieu; car puisqu'elles n'élévent les eaux qu'à l'aide de l'atmosphére qui pése sur la surface de la source, plus cette source est élevée au-dessus du niveau de la mer, moins la colonne d'air qui la presse est longue. J'ai porté un barométre au plus haut des Alpes *, & j'ai trouvé que le mercure s'y tenoit d'environ un quart moins haut qu'à Turin. Si j'y eusse porté une pompe aspirante, & que je l'eusse mise en jeu, elle ne m'auroit donc élevé l'eau tout au plus

* *Le* 23. *Juil.* 1739.

qu'à 24 pieds; & par la raison du contraire, dans les souterrains très-profonds on pourroit attendre du poids de l'air des effets plus grands que ceux qu'il opére ailleurs.

C'est par une méchanique assez semblable à celle des pompes aspirantes, que les oiseaux à longs becs, comme les hérons, les cycognes, les bécasses, &c. & la plûpart des quadrupédes, les chevaux, les vaches, les cerfs, &c. élévent l'eau dans leur estomac: ces animaux boivent en suçant, & succer n'est autre chose que raréfier l'air intérieur, en dilatant les capacités qui le contiennent, pour donner lieu à l'atmosphére d'agir par sa pression. La poitrine en s'élevant, semblable à un soufflet dont on écarte les panneaux, fait naître un nouveau vuide, que l'air du dehors va remplir ordinairement, (ce que l'on nomme *respirer*;) mais si la bouche se trouve baignée ou remplie d'eau, quand ce dernier fluide seroit au-dessous de l'estomac où se fait le vuide, il y est porté par le poids de l'air dont il est toujours chargé.

S'il restoit encore quelque incerti-


Fig. 27.
Fig. 28.

tude après les explications que nous venons de donner de l'aſpiration des pompes, & des autres effets de cette eſpéce, ſi l'on doutoit encore que la preſſion de l'air en fût la véritable cauſe, on pourroit achever de s'en convaincre par l'expérience que nous allons rapporter.

VIII. EXPERIENCE.

Preparation.

Sur la platine d'une machine pneumatique on place un petit gobelet qui contient du mercure, on le couvre d'un récipient ſurmonté d'une petite pompe aſpirante, dont le tuyau, qui eſt de verre, plonge dans le petit vaiſſeau, & l'on fait le vuide le plus parfait qu'il eſt poſſible. *Fig.* 29.

Effets.

Quand on léve le piſton de la petite pompe, on ſent une réſiſtance conſidérable, & le mercure ne s'éléve point dans le tuyau; mais ſi l'air vient à rentrer dans le récipient, la pompe alors a ſon effet ordinaire.

EXPLICATIONS.

Nous prétendons que le poids de l'air fait monter les fluides dans les pompes aſpirantes ; on le ſupprime en évacuant le vaiſſeau ſous lequel eſt placé le mercure, & la pompe n'a plus ſon effet. Il eſt donc prouvé que ce que l'on a ſupprimé (l'air & ſa preſſion) eſt la vraie cauſe de cette aſcenſion des liqueurs dans les pompes.

La difficulté qu'on éprouve en élevant le piſton, quand le récipient eſt vuide, eſt encore une preuve du poids de l'air. Que la ſeringue aboutiſſe à un vaiſſeau vuide d'air, ou qu'elle ſoit bouchée par en-bas, c'eſt la même choſe ; tant que le piſton preſſé en ſa partie ſupérieure par une colonne d'air qui péſe de haut en-bas, l'eſt en même tems par une autre colonne du même air qui ſoutient ſa partie inférieure, ſoit immédiatement, ſoit par l'interméde d'un autre fluide qu'il pouſſe, ce piſton eſt en équilibre entre deux puiſſances égales, & pour le mouvoir on n'a que ſon frottement à vaincre ; mais quand on ſup-

prime la colonne d'air qui le soutient en-dessous, on ne peut plus le tirer de bas en-haut, qu'on ne souléve l'air qu'il porte, & cet air est un cylindre qui a toute la hauteur de l'atmosphére, & dont le piston même est la base.

Applications.

Qu'on se rappelle ici le moyen que nous avons employé dans la seconde leçon *, pour forcer l'eau & le mercure de passer à travers des pores du bois & de la peau. Et l'on concevra, par ce que nous venons de dire touchant la pression de l'air, pourquoi ces fluides ont pénétré le fond de leur vase, lorsqu'on a fait le vuide dans les canons de verre sur lesquels ils étoient établis. Car il est aisé de comprendre qu'en supprimant, comme nous avons fait, l'air qui fait équilibre en-dessous, à celui qui presse par-dessus, celui-ci exerce tout son poids sur la liqueur, & la force de passer.

* *1. & 2. Experiences Tom. I. p. 83. & s.*

Un soufflet bouché de toutes parts n'a plus le mouvement libre; parce que, comme le piston de la seringue de la derniére expérience, il porte une masse d'air considérable, à

quoi rien ne fait équilibre en-dedans.

Par la même raison, la poitrine des animaux ne peut plus se dilater, comme elle a coutume de faire pour la respiration, dès qu'on ferme tout accès à l'air qui doit y entrer ; & les Anatomistes conviennent que les animaux qui se noyent, meurent moins de la quantité d'eau qu'ils avalent, que par l'interruption du mouvement nécessaire pour respirer.

La pésanteur ou la pression latérale de l'air peut se prouver par l'expérience qui suit.

IX. EXPERIENCE.

Preparation.

Il faut établir & fixer sur la platine de la machine pneumatique, un petit moulinet que l'on couvre d'un récipient, percé par le côté & garni d'un petit bout de tuyau, que l'on tient bouché avec le doigt, pendant qu'on raréfie l'air d'un coup de piston seulement. *Fig.* 30.

Effets.

Dès qu'on ôte le doigt pour laiſ-

ser le canal ouvert, on entend un souffle, & l'on voit tourner le moulinet très-rapidement.

EXPLICATIONS.

Le souffle qu'on entend, ne peut point être attribué à autre chose, qu'à l'air qui passe avec beaucoup de vîtesse du dehors au-dedans du récipient, pour remplacer celui qu'on a pompé; & comme le canal qui lui donne passage est horizontal, on ne peut se dispenser de reconnoître que l'air, comme tous les autres fluides, exerce sa pésanteur de côté, de même que de haut en-bas.

APPLICATIONS.

Tout le monde sçait qu'un tonneau plein & percé par le bas seulement, ne s'écoule point, à moins que le trou ne soit fort grand; c'est que l'air par son poids soutient la liqueur qui tend à sortir, & qui pése moins que lui; parce qu'elle n'a point une hauteur suffisante: mais si l'on fait une ouverture à la partie supérieure du tonneau, l'air qui pése sur la liqueur par ce nouveau trou, fait autant d'ef-

fort pour la chasser de haut en-bas, qu'une colonne d'air semblable en fait pour l'empêcher de sortir par en-bas, & alors cette liqueur s'écoule par son propre poids. Cette explication peut servir à rendre raison d'un fait qui paroît d'abord assez singulier. On emplit d'eau un flacon, *Fig*. 31. percé en *A* d'un petit trou, que l'on tient bouché avec une boulette de cire; à travers du bouchon qui ferme exactement l'orifice, passe un tube de verre *B*, qui est ouvert des deux bouts; & l'on emplit d'eau le flacon & le tube. Si l'on débouche le trou qui est en *A*, l'eau s'écoule jusqu'à ce que le tube soit vuide; & aussi-tôt après elle s'arrête.

Ce qui est contenu dans le tube doit s'écouler par son propre poids; parce que l'air presse autant en *B*, qu'il résiste en *A*; mais quand ce tube est entiérement vuidé, l'écoulement doit cesser: car l'eau qui est au-dessous de *AC*, est retenue par son propre poids, comme elle l'est ordinairement dans une tasse; & celle qui est au-dessus de cette ligne demeure suspendue, non-seulement par la pres-

ſion de l'air en *A*, mais encore par celle d'une colonne qui agit par *B* le long du tuyau.

Enfin tous les effets qui dépendent du poids de l'air, ſe font dans une chambre auſſi-bien qu'en dehors ; le barométre, par exemple, s'y tient auſſi haut, & les pompes élévent également l'eau dans des lieux couverts : ce qui prouve bien que les planchers ne bornent point la colomne d'air qui ſoutient le mercure ou les autres liqueurs, mais qu'elle emprunte ſon poids de l'atmoſphére avec qui elle communique, par les fenêtres ou par les portes.

Voici maintenant des preuves de la réſiſtance que l'air fait de bas en-haut.

X. EXPERIENCE.

PREPARATION.

Rempliſſez d'eau le canon de verre repréſenté par la *Fig.* 32. couvrez-le d'un morceau de papier qui touche bien les bords ; mettez la main deſſus, & renverſez le vaiſſeau dans une ſituation perpendiculaire à l'horizon.

EFFETS.

Quand on ôte la main qui tient le morceau de papier appliqué à l'embouchure du vase, l'eau demeure constamment suspendue, & le papier qui lui sert de base y demeure appliqué.

EXPLICATIONS.

L'eau contenue dans le vase ne peut descendre & s'échapper, qu'en refoulant une colonne d'air *D E*, appuyée contre la terre ou contre le plancher, mais cette colonne ne peut refluer latéralement, parce qu'elle est soutenue de tous côtés par l'atmosphére même, dont le poids seroit capable de porter une masse d'eau qui auroit 32 pieds de hauteur; ainsi la résistance de la colonne *D E* étayée par les colonnes voisines, est plus que suffisante pour empêcher l'eau du vaisseau de tomber.

Le morceau de papier dans cette expérience ne sert qu'à prévenir la division des deux fluides, qui auroient peine à se contenir à cause de la grande différence de leurs densités. Quand l'air

l'air & l'eau se touchent par des bases moins larges, cette précaution est inutile, comme on l'a pû remarquer dans les expériences précédentes.

APPLICATIONS.

On peut rappeller ici la fontaine intermittente, dont nous nous sommes servis pour prouver la résistance des corps par celle de l'air *; & l'on appercevra aisément d'où lui vient l'intermittence de son écoulement. Car tant que le canal, qui porte l'air dans le réservoir, est bouché par en-bas, l'air qui répond à l'orifice des petits canaux dirigés vers le bassin, est plus fort qu'il ne faut pour arrêter la chûte de l'eau, dont le poids ne peut avoir son effet, que quand elle est entre deux airs d'égale force; & cela arrive toutes les fois que l'eau du bassin étant écoulée, l'ouverture inférieure du canal reste à découvert. Nous avons parlé aussi au même endroit d'une espéce de pompe, ou de chalumeau renflé, en usage dans les offices pour puiser l'eau qu'on met rafraîchir dans des flacons d'étain. Les liqueurs demeurent encore sus-

* I. Leçon. 3. Section. 2. Exper.

pendues dans cet instrument, par la résistance que l'air fait de bas en-haut, & qui ne manque pas d'avoir son effet, quand on bouche avec le doigt l'orifice d'en-haut, pour empêcher que l'air qui y répond ne joigne son poids à celui de la liqueur.

XI. EXPERIENCE.

Preparation.

FGHI, *Fig.* 33. est un tuyau de verre recourbé, dont une jambe est plus longue que l'autre, & que l'on nomme un *scyphon* : on plonge la jambe la plus courte dans un vase plein d'eau, & en appliquant en *I* la bouche, ou une petite pompe, on suce l'air qu'il contient.

Effets.

Par la suction que l'on fait en *I*, le scyphon se remplit d'eau ; & dès qu'on ôte la bouche, il se fait un écoulement qui continue, tant qu'il y a de l'eau dans le vase.

Explications.

L'eau du vase étant pressée en tou-

te sa surface, par le poids de l'atmosphére, doit s'échapper par l'endroit où elle cesse d'éprouver la même pression; c'est pourquoi elle remplit tout le scyphon aussi-tôt qu'on en suce l'air, & qu'on suspend son action en *F*. Si les deux jambes étoient égales, comme *FG*, *GH*, après la suction il n'y auroit point d'écoulement, parce que la colonne d'air qui résisteroit en *H*, étant aussi haute que celle qui presse en *F*, lui feroit équilibre, & l'eau retomberoit de part & d'autre par son propre poids. Mais lorsque l'une des deux jambes a son orifice au-dessous de la superficie du réservoir, comme *GI*, quoique la colonne d'air qui lui répond, soit plus longue que celle qui pése en *F*, elle n'est pas en état d'empêcher l'eau de couler.

Pour saisir la raison de ceci, il faut considérer la colonne totale d'air *I K* comme divisée en deux parties, dont une *K H*, fait équilibre à *L F*, & feroit capable d'arrêter l'eau, si le tuyau finissoit en *H*. L'eau qui remplit la partie *H I* du scyphon, ne trouve donc d'autre résistance en *I*, qu'une colonne d'air de même lon-

gueur qu'elle, & qui pése beaucoup moins. Cette portion d'eau s'écoule donc par l'excès de son poids : mais pendant qu'elle tombe, rien ne soutient celle qui est au-dessus; c'est pourquoi elle est continuellement remplacée : ainsi l'écoulement a lieu, non parce que l'air ne résiste pas, mais parce qu'à hauteur égale, l'eau pése plus que lui. Et par cette derniére raison, la résistance de l'air en *I*, qui est toujours vaincue, l'est d'autant plus, que la partie *HI* du tuyau est plus longue ; la pression en *A* en devient d'autant plus forte, & c'est ce qui se voit évidemment par l'expérience suivante.

XII. EXPERIENCE.

PREPARATION.

AB, *Fig.* 34. est un gros tuyau de verre qui a environ 15 pouces de longueur, fermé en *B*, & garni en *A* d'une virole de métal, avec un fond auquel sont soudés deux tuyaux qui peuvent avoir intérieurement 2 lignes $\frac{1}{2}$ de diamétre. Le plus court des deux, qui est coudé, s'éléve de

2 ou 3 pouces, en forme d'ajutages dans le gros canon; l'autre qui est plus long, ouvert aussi des deux bouts, n'excéde point le fond auquel il est soudé, mais il se divise en deux parties qui peuvent se séparer en *D*, & se rejoindre à vis. On renverse cet instrument pour y faire couler, par le plus long tuyau, quelques pouces d'eau; ensuite on le remet dans sa situation naturelle, & dans le même instant on plonge la jambe coudée dans un pot plein d'eau.

EFFETS.

Aussi-tôt l'eau s'écoule par la jambe la plus longue, & l'on apperçoit un jet d'eau dans le gros canon; mais ce jet s'éléve beaucoup plus haut, quand le tuyau par où se fait l'écoulement, est composé de ses deux parties, que lorsqu'on en retranche une.

EXPLICATIONS.

Les deux petits tuyaux, & le gros canon auquel ils aboutissent, doivent être considérés comme un scyphon; l'eau qui monte par la jambe la plus courte, & qui s'élance par

ſon extrémité, eſt élevée par le poids de l'air qui agit ſur la ſurface du pot; & puiſque cet élancement de l'eau eſt d'autant plus grand, que l'autre jambe eſt plus longue, c'eſt une marque certaine que la preſſion qui le cauſe, croît à proportion de cet allongement, comme nous l'avons dit ci-deſſus.

APPLICATIONS.

Le ſcyphon que nous venons d'employer, peut être fait de façon que le réſervoir & les branches ſoient cachés dans un pied-d'eſtal, ou autrement; & alors il fait voir un jet d'eau au-deſſus de ſa ſource. Voyez la *Fig.* 35.

En général les ſcyphons ſont fort en uſage dans les celliers, dans les laboratoires de Chymie, dans les offices, &c. pour tirer les liqueurs à clair; comme cet inſtrument les puiſe par la ſuperficie, & qu'on l'employe ſans être obligé de remuer les vaiſſeaux, c'eſt un moyen ſûr pour tirer ſans lie les vins, les ratafiats, &c.

La figure & la matiére du tuyau ne changent rien à l'effet du ſcyphon.

S'il se trouve dans une montagne une veine de sable, qui ait la forme de cet instrument, & qu'elle soit renfermée dans de la glaise, ou dans quelque autre matiére moins propre à filtrer l'eau, ce scyphon naturel épuisera une cavité remplie d'eau, à laquelle répondra sa jambe la plus courte; & si les écoulemens qui fournissent au réservoir, se font plus lentement que son évacuation, l'extrémité de la jambe la plus longue sera une source ou une fontaine naturellement intermittente & périodique.

Le verre à scyphon représenté par la *Fig.* 36. rendra cette idée sensible. Sa coupe que l'on remplit d'eau, peut représenter la cavité que nous supposons dans la montagne; le tuyau recourbé, dont la jambe la plus longue passe à travers du pied, procure une évacuation qui commence dès que l'eau est parvenue en *E*, & qui, lorsqu'elle est finie, ne recommence que quand le verre a été rempli de nouveau.

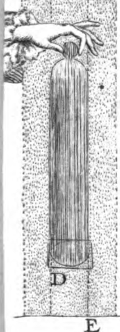
Il faut convenir que pour tirer de cette expérience une explication complette des sources périodiques, on

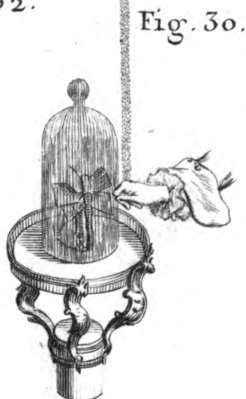
doit supposer un épuisement parfait dans la cavité qui sert de réservoir : car l'écoulement de notre verre à sçyphon, quand une fois il a commencé, ne finiroit point, si l'on avoit soin d'entretenir de l'eau dans le vase ; & l'on aura peine à concevoir que la source qui se fait au bout de la branche la plus longue du scyphon, puisse avoir des intermittences, si les écoulemens qui fournissent de l'eau à la plus courte, n'en ont point. Mais ces sortes d'effets naturels ont ordinairement plusieurs causes à la fois, & c'est toujours un avantage que d'en pouvoir indiquer quelqu'une.

Comme les liqueurs doivent monter dans la jambe la plus courte du scyphon, avant que de s'écouler par la plus longue, & qu'elles y sont élevées par le poids de l'air qui agit sur le réservoir, on doit régler la hauteur de cette partie du tuyau, selon le poids actuel de l'atmosphére, & la densité de la liqueur qu'il doit contenir. Car selon ce que nous avons enseigné touchant les pompes aspirantes, l'eau commune ne s'éleveroit point dans un scyphon, passé 32 pieds

pieds, ni le mercure au-delà de 27 ou 28 pouces ; encore ne faudroit-il pas que ce fût dans un lieu fort élevé au-dessus du niveau de la mer.

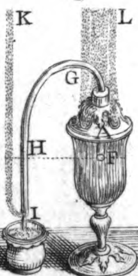
Cette réflexion m'a fait penser qu'on pourroit comparer facilement, & en peu de tems, les densités de deux liqueurs, par le moyen d'un scyphon ouvert en sa courbure, & surmonté d'une petite pompe aspirante, comme il est représenté par la *Fig.* 37. Car cet instrument étant fixé sur une planche graduée par pouces & par lignes, si les branches sont plongées également dans deux gobelets, dont l'un, par exemple, contienne du mercure, & l'autre de l'eau, en raréfiant l'air des tuyaux par le moyen de la petite pompe, chaque liqueur obéira à la pression de l'air extérieur qui est commune à toutes les deux, selon le rapport de sa densité ; si le mercure s'éléve d'un pouce, l'eau montera au quatorziéme. Mais si l'on faisoit usage de cet instrument, il faudroit que les tuyaux, de part & d'autre, eussent au moins 3 ou 4 lignes de diamétre intérieurement. Nous en dirons la raison à la fin de la leçon qui suit.


Fig. 32.
D
E


Fig. 30.


5.


B
Fig. 34.
A
D


Fig. 33.
K
L
G
H
F
I



VIII. LEÇON.

Suite de l'Hydrostatique.

III. SECTION.

De la pésanteur & de l'équilibre des Solides plongés dans les liqueurs.

QUAND un corps solide est plongé, il occupe la place d'un volume de liqueur égal au sien ; à moins que ce ne soit quelque matiére spongieuse, qui admette une portion de la liqueur dans ses pores, ou un corps dissoluble, dont les parties désunies peuvent se loger dans les pores mêmes du dissolvant. Car dans ces deux cas, les volumes ou grandeurs apparentes, tant du solide que de la liqueur, se confondent un peu ; & lorsqu'ils sont mêlés, il arrive le plus souvent qu'ils occupent moins

de place qu'il n'en falloit pour les contenir séparément : un vase, par exemple, dont la capacité égaleroit une pinte, ne seroit pas plein si l'on y mettoit une chopine d'eau, & une pareille mesure de suçre en poudre, ou de morceaux d'éponge. Nous n'avons pas maintenant ces sortes d'effets en vûe : nous considérons les corps plongés comme entiers & impénétrables aux fluides qui les reçoivent ; telle est une bille d'yvoire que l'on fait descendre dans l'eau, & qui l'oblige de s'élever vers les bords du vase dans lequel elle est contenue.

Ce volume de liqueur déplacé par le corps plongé, ou la quantité qui s'éléve au-dessus du plan dans lequel s'étoit fixée la surface de la liqueur avant l'immersion, ce volume, dis-je, pése plus ou moins selon sa densité ; car les fluides, de même que les solides, différent entre eux, par la quantité de matiére propre qu'ils renferment sous un certain volume ; & la même liqueur n'est pas toujours également dense.

On peut faire ici deux suppositions : 1°. Que le volume de liqueur

en question, égale en densité, & par conséquent en poids, le corps solide qui a pris sa place : 2°. ou bien que l'un des deux pése plus que l'autre. Nous appellérons *pésanteur respective*, la quantité dont le plus pésant surpassera le plus léger ; de sorte que si un volume d'eau pésant une livre, est déplacé par un solide qui pése une livre & demie, la pésanteur respective de celui-ci, sera une demi-livre.

PREMIERE PROPOSITION.

Un corps solide entiérement plongé, est comprimé de tous côtés par la liqueur qui l'entoure ; & la pression qu'il éprouve, est d'autant plus grande, que la liqueur a plus de densité, & qu'il est plus profondément plongé.

Nous avons fait voir dans la premiére Section de la Leçon précédente, que le poids des liqueurs s'exerce dans tous les sens. Nous avons prouvé encore que cette pression croît en raison de la hauteur du liquide ; & enfin, dans la seconde Section il a été démontré qu'il y a équilibre entre deux liqueurs dont les

hauteurs sont en raison réciproque de leurs densités ou pésanteurs spécifiques. La proposition que nous venons d'énoncer, n'est qu'une conséquence de celles-ci : de la premiére, il suit qu'*un corps plongé, est comprimé de toutes parts*. Il suit de la seconde, que *la pression qu'il éprouve, est d'autant plus grande, qu'il est plus profondément plongé*. Et de la troisiéme enfin, il suit, qu'à profondeurs égales, *la charge est d'autant plus grande, que le fluide a plus de densité ou de pésanteur*.

PREMIERE EXPERIENCE.

PREPARATION.

La *Fig.* 1. représente un grand vase de verre plein d'eau claire, dans laquelle on plonge une petite vessie remplie d'eau colorée, & liée à un tube de verre qui est ouvert par les deux bouts.

EFFETS.

Quand la vessie est entiérement plongée, l'eau colorée commence à monter dans le tube, & elle s'y éléve de plus en plus, à mesure que

l'on plonge plus avant, de maniére qu'elle est toujours aussi haute que la superficie de l'eau contenue dans le grand vase.

EXPLICATION.

L'eau colorée qui s'éléve dans le tube pendant l'immersion, prouve incontestablement que la vessie est comprimée, & que sa capacité est diminuée : quand on voit cet effet augmenter à mesure qu'on la plonge plus avant, on est forcé de reconnoître que la pression de l'eau qui en est la cause, augmente aussi ; & comment n'augmenteroit-elle pas, puisque le corps plongé se trouve alors chargé de colonnes plus hautes, & qui ont toujours, à peu de chose près, des bases aussi larges ? Je dis à peu de chose près ; car la compression diminue le volume total de la vessie, & sa surface n'est pas tout-à-fait aussi grande au fond du vase, qu'elle l'est à fleur d'eau.

L'eau colorée s'éléve dans le tube à mesure qu'il s'avance vers le fond, mais jamais elle n'excéde la superficie de l'eau du grand vase ; parce que

les deux liqueurs étant de même densité, quand elles se mettent en équilibre, leurs hauteurs doivent être égales. Il n'en feroit pas de même, si la vessie, au lieu d'eau, contenoit de l'esprit-de-vin ou du mercure; le dernier de ces deux fluides se tiendroit beaucoup plus bas que l'eau du vase, & l'autre s'éleveroit un peu au-dessus.

Lorsqu'on se sert d'une vessie un peu grosse, on peut remarquer que, pendant qu'on la plonge, la compression n'est point égale de toutes parts, & qu'elle est plus pressée de bas en haut que latéralement; car sa figure change, & elle est un peu écrasée. Quoique la réfraction de la lumiére change l'image de l'objet en pareil cas, on doit convenir qu'il y a quelque réalité dans cette apparence, si l'on fait attention que la vessie plongée ne peut descendre sans diviser l'eau, que cette eau qui résiste un peu à sa division occasionne une pression étrangére de haut en bas, & que de cette pression il doit naître un changement dans la figure du corps plongé à cause de sa flexibilité.

APPLICATIONS.

Tous les animaux qui appartiennent à la terre, vivent ou dans l'air, ou dans l'eau; par conséquent chacun d'eux est exposé à la pression d'un fluide qui l'environne de toutes parts, & dont la charge est considérable, eu égard à sa hauteur. Une colonne de l'atmosphére équivaut, comme nous l'avons vû précédemment, à une colonne d'eau de même base qui auroit 32 pieds de haut. Si c'est seulement un cylindre d'un pouce de diamétre, le poids en est assez considérable; mais combien compteroit-on de bases semblables, ou de cercles d'un pouce de largeur sur la surface entiére d'un homme? En appliquant le calcul à cette considération, on trouve qu'une personne de moyenne taille répond à une masse d'air qui excéde le poids de 20000.

Mais un poisson au fond d'une riviére ou d'un lac, supporte non-seulement la pression de l'air, comme les animaux terrestres, mais encore celle de l'eau, de sorte que s'il est à

32 pieds de profondeur, il eſt chargé de deux fois le poids de l'atmoſphére. Quelle preſſion ſe feroit-il donc ſur un animal qui vivroit au fond de la mer ?

Ces poids énormes appliqués continuellement à la ſurface des corps, ne les détruiſent pas cependant, parce que, comme la veſſie de notre expérience, ils ſont ſoutenus intérieurement par le même fluide qui les environne. Nous reſpirons le même air qui nous comprime au-dehors : & les poiſſons ſont dans le même cas à l'égard de l'eau ; car s'ils reſpirent de l'air avec l'eau, cet air, avant qu'il paſſe dans leur corps, eſt en équilibre par ſon reſſort, avec la preſſion du fluide dont il eſt chargé. Le mouvement de la poitrine au tems de la reſpiration, n'eſt libre qu'autant qu'il y a équilibre entre l'air extérieur, & celui du dedans ; tout accident qui rendroit celui-ci plus foible ou plus fort, feroit auſſi qu'on reſpireroit avec difficulté.

Non-ſeulement la preſſion extérieure des fluides ne détruit pas les corps ſur leſquels elle agit ; mais elle

les conſerve au contraire dans leur forme naturelle à cauſe de ſon égalité ; elle contribue ſouvent à la cohérence de leurs parties, & elle arrête dans pluſieurs les progrès de la fermentation ou de la corruption qui tend à les diſſiper. Nous en pouvons trouver des preuves, ſans ſortir du genre animal. Lorſqu'on applique la ventouſe, opération ſouvent plus douloureuſe que ſalutaire, & qui n'eſt plus guéres d'uſage en France, il s'éléve une tumeur à la partie charnue du corps ſur laquelle on fait ceſſer la preſſion de l'air, en y appliquant une petite pompe, ou une petite cloche de verre, dans laquelle on allume un peu d'étoupes pour raréfier l'air. Cette élévation de la peau eſt cauſée par l'affluence du ſang & des autres fluides, qui étant plus comprimés par tout ailleurs, ſe portent à l'endroit où la preſſion eſt moindre.

C'eſt encore par une ſuſpenſion du poids de l'air à peu près ſemblable, que les animaux nouveaux-nés tirent le lait des mammelles de leurs nourrices ; toute la partie où la nature

a rassemblé cet aliment liquide, étant comprimée comme le reste du corps, excepté l'endroit qui est succé, il se fait un écoulement, comme il arriveroit, si le mammelon restant exposé à la pression de l'air, le reste étoit plus comprimé que de coutume. Il est donc évident par ces exemples, que la pression égale des fluides ambians, & la résistance qu'ils font intérieurement, contient les corps dans leur état naturel, & qu'elle est nécessaire pour cet effet.

Il est à présumer cependant que l'équilibre des deux pressions tant intérieure qu'externe, ne suffiroit pas toujours pour conserver l'œconomie animale en son entier. Il y auroit sans doute tel dégré de compression qui la dérangeroit. Supposons, par exemple, que la vessie de notre expérience, au lieu d'être une membrane mince & solide, soit un tissu lâche & spongieux, il est certain qu'étant plongé fort avant dans l'eau, son épaisseur seroit fort pressée de part & d'autre, que ses fibres se rapprocheroient, & que l'ordre en seroit changé. De même un animal qui est

à son aise dans son élément naturel, y souffriroit si la pression à laquelle il est accoutumé venoit à s'augmenter considérablement, quoiqu'elle s'accrût également tant au-dedans qu'au-dehors.

Ne seroit-ce point là la principale raison qui empêche les plongeurs de rester assez long-tems sous l'eau, à de grandes profondeurs ? Car on les y descend dans une grande cloche pleine d'air, que l'on a même trouvé le moyen de renouveller, depuis qu'on s'est apperçu que cela étoit nécessaire pour respirer sans danger & librement. Cependant malgré toutes les précautions qu'on a pû prendre jusqu'à présent, il paroît qu'un homme qui s'expose dans cette machine, s'y trouve presque toujours dans un état violent, & souvent on l'en a vû sortir les yeux fort gros, & perdant du sang par le nez ou par les oreilles, de maniére que cette invention éprouvée en différens pays, & de bien des façons, n'a point encore eu de grands succès. C'est qu'il ne suffit pas de procurer au plongeur un air nouveau ; il faudroit que cet air ne diffé-

rât pas beaucoup de sa densité ordinaire ; & c'est ce qui ne paroît point praticable sous un volume d'eau considérable, dont il doit nécessairement supporter la pression. La plus belle épreuve de ce genre qui ait été faite, est celle de M. Halley, qui resta sous l'eau plus d'une heure, sans en être incommodé ; mais sa cloche ne fut plongée qu'à une profondeur d'environ 54 pieds de France, ce qui ne seroit pas suffisant dans bien des occasions ; d'ailleurs elle étoit fort grande ; & si cette condition étoit nécessaire pour le succès qu'elle eut, comme on le peut croire, on ne pourroit s'en servir que rarement, & dans des cas d'une grande importance, à cause des grands frais & des embarras qu'on ne peut éviter dans l'usage d'une telle machine.

II. PROPOSITION.

Si le corps plongé est plus pésant que le volume de liqueur qu'il a déplacé, sa pésanteur respective le fait tomber au fond du vase, s'il est libre de lui obéir.

II. EXPERIENCE.

PREPARATION.

L'inſtrument repréſenté par la *Fig.* 2. eſt une balance hydroſtatique, qui a pour baſe une caiſſe doublée de plomb. Les trois vaiſſeaux de verre *A*, *B*, *C*, ſe montent à vis ſur leurs pieds qui ſont creux, & qui communiquent avec un canal caché ſous le couvercle de la caiſſe. Ce canal eſt garni de quatre robinets ; ſçavoir, deux à ſes extrémités, dont on voit les clefs en *D* & en *E* ; & deux autres en *F* & *G*. Ces deux derniers ouvrent des communications entre les trois vaſes, de ſorte que celui du milieu étant rempli d'eau ou de quelqu'autre liqueur, ceux des côtés enſemble, ou l'un ſans l'autre, peuvent s'emplir par le fond ; les deux robinets *D*, *E*, ſervent à évacuer dans la caiſſe, les vaſes des côtés, & même celui du milieu, ſi les communications ſont ouvertes. Le chapiteau du grand vaſe porte un fleau de balance avec deux petits baſſins qui peuvent s'ôter quand il le faut, & ſous leſ-

quels sont deux petits crochets tournans *h*, *k*, ausquels on suspend les corps qu'on veut péser, dans les vases des côtés ausquels ils répondent.

Cet instrument assorti de toutes les piéces qui en dépendent, s'employe commodément & sans causer aucunes saletés, pour faire toutes les expériences qui ont rapport à cette derniére partie de l'hydrostatique. Mais pour ne point répéter plusieurs fois la même figure, nous ne rapporterons pour chaque expérience que les choses nécessaires au fait dont il sera question, en supposant le reste comme nous venons de le décrire.

Pour la preuve de notre seconde Proposition, le vase *B* étant presque plein d'eau, on y fait plonger une bille d'yvoire, suspendue par un fil au bras de la balance. Voyez la *Figure 3*.

EFFETS.

1°. Si l'on ne met rien dans le bassin opposé à celui qui tient la bille suspendue, cette bille ne manque pas de tomber au fond du vase.

2°. Si l'on charge le bassin opposé pour

pour tenir la bille en équilibre dans l'eau, le poids que l'on employe est toujours beaucoup moindre que celui de la bille pésée dans l'air.

EXPLICATIONS.

La bille d'yvoire de notre expérience, tient la place d'un volume d'eau, qui, s'il y étoit, seroit parfaitement en équilibre avec toutes les parties semblables de la même masse fluide, selon la quatriême proposition de la premiére Section; ce volume ne pourroit ni déplacer par son poids celui de dessous, ni être déplacé par celui de dessus, parce que celui-ci n'auroit pas plus de force que lui pour aller au fond, & que celui-là en auroit autant que lui pour résister à sa chûte; mais lorsqu'en sa place il y a un corps plus dense ou plus pésant, le volume d'eau qui est dessous doit céder, non pas à tout son poids, mais à l'excès qu'il a sur lui; c'est pourquoi, pour empêcher la bille plongée de tomber au fond, il n'est pas besoin de mettre dans le bassin opposé un poids qui soit égal au sien, mais seulement une quantité

qui égale celle dont l'yvoire surpasse un pareil volume d'eau.

Il ne faut pas s'imaginer qu'un corps qui s'enfonce sous l'eau, augmente en poids par l'accroissement de la colonne qu'il laisse au-dessus de lui. Car le poids de cette colonne est toujours contrebalancé par la résistance de celle qui est dessous ; & cette résistance est soutenue par la pression des colonnes voisines, qui égalent en hauteur celle qui pése sur le corps plongé. Celui-ci est donc toujours en équilibre, eu égard aux deux pressions de dessus & de dessous ; & s'il tombe, ce n'est que parce qu'il a, par une plus grande quantité de matiére, la force de déplacer continuellement une quantité de liqueur, qui ne lui est égale qu'en volume.

L'accélération qu'on remarque dans la chûte des graves, ne peut donc pas être attribuée, comme l'ont prétendu quelques Philosophes, au fluide dont la hauteur s'augmente au-dessus d'eux, à mesure qu'ils tombent ; d'ailleurs cet accroissement de hauteur de la part du fluide, ne ré-

pond point aux progrès de l'accélération des corps qui obéissent à leur pésanteur, ni à la nature de la gravité, qui affecte les corps en raison de leur masse, & non en raison de leur volume.

CONSEQUENCE.

Il suit de la proposition que nous venons de prouver, qu'un corps, tel qu'il soit, ne tombe ou ne tend jamais à tomber avec toute l'intensité de sa pésanteur absolue ; car en quelque lieu que se fasse sa chûte, il est toujours plongé dans un milieu matériel, dont il déplace un volume semblable au sien ; ainsi, comme à la bille de notre expérience, il ne lui reste, pour se porter de haut en bas, que sa pésanteur respective : les gouttes de pluye, les grains de grêle, les floccons de neige, ne descendent vers la surface de la terre, qu'autant qu'ils excédent en pésanteur la quantité d'air dont ils occupent la place. Comme l'air est un fluide fort léger, la pésanteur respective des corps qu'il environne de toutes parts, différe bien peu de leur pésanteur ab-

solue ; on en apperçoit cependant la différence lorsqu'on pése un même corps successivement dans l'air & dans le vuide, comme dans l'expérience suivante.

III. EXPERIENCE.

PREPARATION.

Il faut disposer dans un large récipient une balance fort exacte & fort mobile, de maniére qu'on puisse élever le fleau en tirant la tige 1. *Fig.* 3. Avant que de faire le vuide, il faut avoir mis en équilibre une petite balle de plomb d'une part, & de l'autre une grosse boule creuse de papier, & avoir soin que ces deux corps ne posent sur rien d'humide ou de gras qui puisse empêcher les effets naturels de la pésanteur, quand on léve la balance.

EFFETS.

La boule de papier qui étoit bien en équilibre dans l'air avec le plomb, se trouve plus pésante que lui dans le vuide.

EXPLICATION.

La boule de papier dans l'air n'a que sa pésanteur respective à opposer au plomb ; dans le vuide elle jouit de sa pésanteur absolue, n'étant soutenue sensiblement par aucun fluide. Or la pésanteur absolue est toujours plus grande que la pésanteur respective, puisque celle-ci n'est qu'un restant de celle-là. On peut répondre que le plomb dans le vuide revient aussi à sa pésanteur absolue ; mais on verra bientôt (& l'on pourroit déja l'entrevoir) que quand les volumes en équilibre différent entre eux, comme ceux que nous avons employés, ce qu'ils reprennent de leur pésanteur quand ils cessent d'être plongés, n'est point égal de part & d'autre.

APPLICATIONS.

Si l'immersion réduit les corps à une pésanteur respective toujours moindre que leur pésanteur absolue, les forces qui les soutiennent n'ont plus besoin d'être aussi grandes qu'elles devroient l'être, s'ils n'étoient point plongés. Aussi s'apperçoit-on

bien de cette différence, lorsqu'on tire hors de l'eau quelque masse d'un volume un peu considérable. Les pêcheurs qui ont fait un bon coup de filet, ne craignent de le rompre que quand ils l'enlévent de l'eau dans l'air; on sauve sans peine une personne qui est en danger de se noyer, quand on peut la saisir par la partie la plus fragile de ses vêtemens; pareil secours ne suffiroit pas à quelqu'un qui seroit prêt de tomber par une fenêtre : c'est qu'un homme dans l'eau, n'a quelquefois pas une livre ou deux de pésanteur respective, & qu'il en a assez souvent plus de 130 dans l'air.

III. PROPOSITION.

Ce qu'un solide plongé perd de son poids, est égal à celui du volume de liqueur déplacé.

Nous avons vû par les preuves de la proposition précédente, qu'un corps plongé perd une partie de son poids pendant l'immersion; par celle-ci nous voulons faire connoître quelle est cette quantité de son poids qui lui manque tant qu'il est plongé; & selon notre énoncé, si le volume de

liqueur déplacé péſe deux onces, & que le corps plongé en péſe quatre, celui-ci perd la moitié de ſon poids, & la force qu'on employera, pour l'empêcher de tomber au fond du vaſe, n'aura plus que deux onces à ſoutenir.

IV. EXPERIENCE.

PREPARATION.

L, *Fig.* 2. eſt un petit cylindre ſolide de métal, capable de remplir exactement le petit vaiſſeau *M* ſous lequel il eſt ſuſpendu. On attache le tout, & on le met en équilibre avec le poids *N* au fleau de la balance, & l'on fait venir de l'eau dans le vaſe *A* juſqu'à ce que le petit cylindre ſoit entiérement plongé.

EFFETS.

Par l'immerſion du corps *L*, le poids *N* devient trop péſant, l'équilibre ceſſe; mais il ſe rétablit, dès qu'on emplit d'eau le petit vaſe *M*.

EXPLICATIONS.

Le petit cylindre, dès qu'il eſt

plongé, devient trop léger, parce que l'immersion lui ôte une partie de son poids; mais comme cette quantité qui lui manque est égale en pésanteur au volume d'eau déplacé, l'équilibre se rétablit lorsqu'on charge le bras de la balance, d'une quantité d'eau qui a la même grandeur que le corps plongé. Cette proposition que nous venons de prouver, a plusieurs conséquences que nous allons déduire.

Premiere Consequence.

Puisque le volume de liqueur déplacé, mesure la quantité que le corps plongé perd de son poids, il s'ensuit, qu'à quantités égales de matiére, plus les corps sont grands, plus ils perdent de leur poids par l'immersion. Une livre d'yvoire seroit donc plus soutenue dans l'eau qu'une livre de marbre; la pésanteur respective seroit différente de part & d'autre, quoique ces deux matiéres fussent plongées dans le même fluide.



V. EXP.

V. EXPERIENCE.

PREPARATION.

Mettez en équilibre aux bras de la balance une bille d'yvoire, & une balle de plomb, & faites venir l'eau dans les deux vases ausquels répondent ces deux corps. *Fig.* 4.

EFFETS.

Dès qu'il y a assez d'eau dans les vases pour plonger les deux balles, le fleau de la balance ne peut plus demeurer dans une situation horizontale, le plomb emporte l'yvoire.

EXPLICATIONS.

Chacun de ces deux corps perd une partie de son poids dans l'eau, mais ces quantités perdues sont inégales entre elles; car elles sont proportionnelles aux volumes d'eau déplacés, & le plomb en déplace moins que l'yvoire; celui-ci perd donc plus que l'autre de sa premiére pésanteur, ce qui rompt l'équilibre.

APPLICATIONS.

Le plomb, le fer fondu, le cuivre sont les matiéres dont on se sert communément pour faire des poids de balance. Ces métaux ont pour l'ordinaire beaucoup moins de volume que les corps avec lesquels on les met en équilibre ; mais pour faire cet équilibre dans l'air où l'on pése toutes les marchandises, il faut suppléer par une plus grande quantité, à l'inégalité de la perte que font deux corps pésés dans le même fluide, quand leurs grandeurs sont inégales ; ainsi le marchand donne plus d'une livre de plume, quand il la pése contre une livre de plomb : car ces deux matiéres dans l'air n'ont que leur pésanteur respective, c'est-à-dire, que ce fluide leur ôte une partie de leur pésanteur absolue, & il en ôte plus à celle des deux qui a le plus de volume ; de sorte que si l'on rapportoit la balance toute chargée dans le vuide, il faudroit nécessairement ôter de la plume, pour conserver l'équilibre. Il y a donc à gagner pour le marchand, s'il réduit au plus petit volu-

me qu'il eſt poſſible, ce qu'il vend au poids; & ſi les matiéres précieuſes, comme le diamant, ſe péſoient ſous des volumes qui valuſſent la peine d'y faire attention, on gagneroit plus à les vendre au poids de fer, qu'au poids d'or ou de plomb, ſur-tout lorſque l'air dans lequel ſeroit la balance deviendroit plus denſe.

II. CONSEQUENCE.

Il ſuit encore de la troiſiéme propoſition, que plus le volume de liqueur déplacé eſt matériel, plus le corps plongé eſt ſoutenu; ainſi la péſanteur reſpective d'un même corps après l'immerſion, doit être d'autant plus grande, que la liqueur a moins de denſité.

VI. EXPERIENCE.

PREPARATION.

On tient en équilibre aux bras de la balance deux billes d'yvoire bien égales en groſſeur; on emplit d'eau les deux vaſes auſquels elles répondent; enſuite l'un des deux ayant été vuidé, on ſubſtitue à l'eau qu'il con-

tenoit, de l'eau de vie ou de l'esprit de vin, *Fig.* 5.

EFFETS.

1°. Tant que les deux vases sont pleins du même fluide, (d'air, ou d'eau,) l'équilibre subsiste entre les deux billes plongées.

2°. Lorsque l'une des deux billes plonge dans l'eau, & l'autre dans l'esprit de vin, ou dans l'eau de vie, celle-ci emporte la premiére.

EXPLICATIONS.

Les volumes de liqueurs déplacés étant mesurés par des corps d'égales grandeurs, & ces volumes étant pris dans la même liqueur, ils sont parfaitement semblables entre eux, eû égard à leurs quantités de matiére, & par conséquent ils résistent également aux corps plongés qu'ils ont à soutenir; & comme d'ailleurs ces deux billes ont des pésanteurs absolues fort égales entre elles, leur immersion dans la même eau ôte des quantités égales à des quantités égales, les restans sont égaux, & l'équilibre subsiste.

Mais quand l'une des deux billes eſt plongée dans une liqueur moins denſe que l'eau, elle eſt moins ſoutenue, elle perd moins de ſon premier poids, ſa péſanteur reſpective eſt plus grande, elle l'emporte ſur l'autre.

III. CONSEQUENCE.

Comme la denſité eſt plus ou moins grande, non-ſeulement dans différens fluides, mais qu'elle peut auſſi varier dans le même par le froid, par le chaud, ou autrement, & que les ſolides que l'on plonge, ſont ſuſceptibles des mêmes variations, il peut arriver que la péſanteur reſpective d'un même corps varie, quoique dans la même liqueur.

VII. EXPERIENCE.

PREPARATION.

La *Fig.* 6. repréſente une petite phiole de verre pleine d'eſprit-de-vin, & dans laquelle on a renfermé une petite figure d'émail, qui ſe tient pour l'ordinaire en-haut, parce qu'elle eſt plus légére qu'un pareil volume de la liqueur dans laquelle elle

eſt : la phiole aboutit à un bain-marie qu'on fait chauffer, par le moyen d'une petite lampe qu'on allume deſſous.

EFFETS.

Quand l'eſprit-de-vin a reçu un certain dégré de chaleur, on voit deſcendre la petite figure au fond de la phiole, & elle remonte lorſque la liqueur eſt refroidie.

EXPLICATIONS.

La chaleur dilate tous les corps, comme nous le ferons voir en parlant de l'action du feu. L'eſprit-de-vin que l'on a chauffé, eſt donc moins denſe qu'il n'étoit étant plus froid. Mais ſi la maſſe totale de cette liqueur occupe un plus grand eſpace qu'auparavant, il faut que ſes parties ſoient plus rares, plus écartées les unes des autres; en un mot, il y en a moins dans le volume meſuré par la figure d'émail ; & par conſéquent il n'eſt plus capable de la ſoutenir, elle va au fond de la phiole, & elle y demeure, tant que les choſes ſont en cet état ; mais lorſque l'eſprit-de-vin ſe refroi-

dit, ses parties se rapprochent, se condensent, & le volume qui répond à la petite figure, augmentant de matiére, & de poids par conséquent, devient en état de la soutenir & de la soulever. Il est vrai que la même chaleur qui dilate la liqueur, dilate aussi la figure d'émail; mais elle la dilate moins, & cela suffit pour faire naître les effets que nous venons d'expliquer.

VIII. EXPERIENCE.

Preparation.

Le vaisseau représenté par la *Fig.* 7. est une espéce de bouteille longue de verre, élevée sur une patte de même matiére; elle est remplie d'eau, & si l'on veut qu'elle ne se gèle point l'hyver, on y peut mettre un tiers d'esprit-de-vin. On la bouche avec un morceau de vessie mouillée, que l'on étend sur l'orifice, & que l'on arrête autour du col avec un fil. Dans cette bouteille, est une petite figure creuse d'émail, plus légére que la liqueur, & au pied de laquelle on a pratiqué un petit trou, comme pour passer une épingle.

EFFETS.

1°. Lorſqu'on appuye avec le bout du doigt ſur la veſſie, la petite figure deſcend au fond de la bouteille, & y demeure tant que la même preſſion ſubſiſte.

2°. Si l'on appuye moins fort, ou que l'on ceſſe d'appuyer, elle remonte auſſi-tôt.

3°. Si l'on modére la preſſion lorſqu'elle eſt en chemin pour deſcendre; elle ſe tient à tel endroit que l'on veut.

4°. Si l'on preſſe la veſſie, comme par ſecouſſes, la petite figure pirouette ſur elle-même.

Ces effets ſont les mêmes quand on renverſe la bouteille, & que la preſſion ſe fait de-bas-en-haut; ainſi l'on peut donner à cette expérience un air de myſtére, en arrangeant pluſieurs tuyaux dans un chaſſis, & en faiſant la preſſion néceſſaire ſur leurs orifices, d'une maniére cachée aux yeux des ſpectateurs, ſoit par des leviers de renvoi, ſoit par des cordons cachés dans l'épaiſſeur des bois, ou autrement. Voyez la *Fig.* 8.

EXPLICATIONS.

Les liqueurs, ou ne se compriment point, ou ne se compriment que très-difficilement, comme nous l'avons enseigné dans la seconde leçon. L'air au contraire est un fluide flexible, & que l'on peut comprimer avec beaucoup de facilité; c'est ce que nous prouverons ailleurs. La petite figure creuse d'émail est remplie d'air, & elle est plongée dans l'eau. Elle est donc pleine d'une matiére compressible, & environnée d'une autre qui ne l'est point. Quand on appuye avec le doigt sur la vessie, on presse toute la masse de l'eau qui est dans la bouteille, la colonne qui répond au petit trou dont nous avons parlé, ne pouvant rentrer sur elle-même à cause de son inflexibilité, porte tout l'effort qu'elle reçoit de la pression, contre l'air qui est dans la figure; & comme ce fluide se laisse comprimer & resserrer dans un moindre espace, il céde à l'eau une partie de celui qu'il occupe; alors la figure d'émail est plus pésante qu'elle n'étoit, car on doit la considérer comme un com-

posé d'émail, d'air plus condensé, & d'un peu d'eau qu'elle a reçue. Si le tout ensemble est plus pésant que le volume d'eau correspondant, il va au fond; il remonte au contraire quand il est plus léger, c'est-à-dire, quand une moindre pression pousse moins d'eau dans la figure, ou qu'on laisse à l'air comprimé la liberté de repousser par son ressort celle qui est entrée : & l'on conçoit aisément qu'en ménageant cette pression du doigt, on retient dans la figure une quantité d'eau, telle que le tout ensemble est en équilibre dans la masse. Enfin comme le petit trou par où l'eau peut entrer ou sortir, est pratiqué à l'une des deux jambes, c'est-à-dire, sur le côté de ce petit corps plongé, si le fluide qui y passe, est poussé ou repoussé avec une grande vitesse, l'impulsion oblique doit faire tourner la figure sur elle-même; car étant ainsi suspendue dans l'eau, c'est comme si elle étoit mobile sur deux pivots, ou sur un axe.

Cette figure devient donc tantôt plus légére, tantôt plus pésante, que la liqueur où elle est plongée, non

parce que le volume d'eau correſpondant change de denſité ou de grandeur, mais parce que le corps plongé devient lui-même alternativement plus denſe & plus léger de matiére, ſans changer de volume.

APPLICATIONS.

Comme de tous les animaux qui reſpirent l'air, les uns ſe tiennent à la ſurface de la terre, pendant que d'autres s'élévent dans l'atmoſphére, & s'y meuvent à leur gré ; de même parmi ceux qui habitent les eaux il y en a quantité d'eſpéces qui ne quittent guéres le fond, & beaucoup d'autres au contraire qui s'élévent de bas-en-haut, & qui deſcendent avec une égale facilité, quand leurs beſoins l'exigent. On trouve dans la plûpart de ces derniers une double veſſie remplie d'air, qui porte à croire que le poiſſon, à l'aide de ce fluide à reſſort, augmente ou diminue le volume de ſon corps, quand il veut ou s'élever, ou deſcendre ; car après ce qui a été dit ci-deſſus, on conçoit bien que l'animal augmentant en grandeur, ſans augmenter de

matiére, peut devenir plus léger que le volume d'eau auquel il répond actuellement : & qu'au contraire s'il diminue son propre volume, il déplace moins d'eau, & qu'il peut se rendre de cette maniére, plus pésant que le fluide qui s'oppose à sa chûte.

Ce qui rend cette explication encore plus vraisemblable, c'est que si l'on dilate l'air de la double vessie, en mettant le poisson dans le vuide ; tant que cet état dure, il fait de vains efforts pour aller ou pour rester au fond de l'eau, il surnage malgré lui : & il éprouve un effet tout contraire, lorsqu'on l'a privé de cet air intérieur, soit en crévant la double vessie, soit en la vuidant en partie.

Les animaux qui se noyent, vont d'abord au fond de l'eau, parce qu'ils sont plus pésans qu'elle ; mais quelque tems après on les voit reparoître à la surface, & communément ces apparitions recommencent plusieurs fois. C'est que ces cadavres deviennent alternativement plus pésans & plus légers que le volume d'eau auquel ils répondent. L'animal suffoqué au fond d'une riviére se corrompt en peu de

jours : la corruption n'est qu'un déplacement de parties, & lorsqu'il se fait un mouvement général dans les parties d'un tout, son volume augmente. Un tel corps surnage donc, parce que, sans avoir plus de matiére, il a plus de grandeur, & qu'il répond à un volume d'eau plus pésant que lui. C'est une chose qui ne peut être ignorée de ceux qui ont eu occasion de voir ces corps qui reviennent ainsi sur l'eau. On a dû remarquer qu'ils sont toujours gonflés & tendus comme des ballons ; mais s'ils restent quelque tems ainsi entre l'eau & l'air, la corruption augmente, il se fait des dissolutions & des évacuations, qui donnent lieu aux parties les plus solides de s'affaisser & de se rapprocher, le volume total diminue, & répond à une moindre quantité d'eau qui n'est plus en état de le soutenir ; & si après cette nouvelle immersion, quelqu'autre fermentation vient encore à gonfler le cadavre assez considérablement, on le voit reparoître de nouveau.

Un corps quelconque n'a pas besoin que son propre volume soit aug-

menté pour surnager, il suffit qu'il soit uni à quelque autre matiére plus légére que le fluide où il est plongé, & que le tout ensemble pése moins que le volume correspondant. Les gens qui apprennent à nager se garnissent le corps de vessies pleines d'air, ou de calebasses. Ces volumes auxiliaires les mettent en état de se soutenir plus facilement sur l'eau; mais avec ces sortes de précautions, les maladroits courent encore beaucoup de risques; car pour se noyer il suffit d'avoir la bouche & le nez dans l'eau, & celui qui ne sçauroit pas se tenir toujours dans une situation propre à lui laisser respirer l'air, périroit avant même que d'aller à fond.

Si, pour nager à l'impromptu, les autres animaux ont quelque avantage sur l'homme, je ne pense pas qu'ils en soient redevables, comme on le dit quelquefois, à l'ignorance du danger ou au défaut de réflexion. Quand un cheval, un boeuf, un chien se trouve à la nage malgré lui, de quelque maniére qu'il juge de sa situation, j'ai peine à me persuader qu'il n'en sente point le péril. Je lui vois faire tous

ce qu'un homme voudroit imiter en pareil cas, & quand il a pris terre, il donne des signes de joie, & se comporte avec des précautions qui prouvent assez la peur qu'il a eue. Mais ce qui fait qu'un quadrupéde se sauve plus facilement à la nage, c'est, je pense, que son poids qui tend à l'enfoncer, ne change rien à sa posture naturelle, & que quand le reste du corps seroit entiérement plongé à fleur d'eau, sa tête se trouve encore hors de l'eau sans un grand effort. Il n'en est pas de même d'un homme; l'endroit le plus pésant, ce qui se plonge le premier, est vers la tête, & quand il nage assez pour ne point aller à fond, il a encore des soins à prendre, & des efforts à faire, pour éviter d'avoir le visage dans l'eau: aussi les nageurs sont-ils plus à leur aise sur le dos qu'autrement.

Cette explication dont je fais usage depuis neuf ans dans mes leçons publiques, me paroît d'autant plus probable, qu'elle se trouve assez conforme à celle d'un Sçavant qui n'a point été à portée de m'entendre, & qui est trop riche de son propre fond

pour être soupçonné de s'approprier les pensées des autres. M. Bazin, Docteur en Médecine à Strasbourg, digne correspondant de M. de Reaumur, à l'Académie des Sciences, & l'auteur de plusieurs ouvrages de Physique, qui ont été justement applaudis, a fait imprimer, en 1741. un volume *in*-8°. dans lequel on trouve une dissertation fort curieuse, sur la différence qu'il y a entre l'homme & les bêtes, par rapport à la facilité de nager. Le Lecteur qui voudra s'instruire amplement sur cette matiére, trouvera dans cet écrit de quoi se satisfaire.

Si des calebasses, ou des vessies pleines d'air empêchent un homme d'aller à fond, de pareils moyens employés d'une maniére convenable peuvent soulever, & amener à la surface de l'eau des corps submergés ausquels on les auroit joints. Lorsqu'un navire a échoué sur le sable, ou qu'il est envasé, pour le remettre à flot, on y attache, dans le tems de la marée basse, de grandes caisses très-fortes, & dont les volumes sont proportionnés au poids du vaisseau, & à l'effort qu'on juge nécessaire pour le détacher.

cher. A la marée montante, si le volume d'eau qui répond à cet assemblage, pése plus que lui, il ne manque pas de l'enlever, & de le mettre en état d'être tiré à bord.

Quand cette opération doit se faire dans des endroits où il n'y a point de marée ; c'est-à-dire, où la surface de l'eau demeure toujours à même hauteur, on emplit d'eau les caisses que l'on veut joindre au vaisseau, pour les faire enfoncer le plus profondément qu'il est possible, sans cependant les submerger, & lorsqu'elles sont attachées, on les vuide avec des pompes, pour leur rendre la premiére légéreté qu'elles avoient, & qu'elles doivent partager avec le corps engravé, & ce procédé a le même succès que le premier, si l'on a observé les proportions néçessaires.

Le plus difficile de ces sortes d'opérations, c'est de passer des cables sous le vaisseau engravé, sur-tout quand il l'a été long-tems, & que la vase s'est durcie autour, & s'y est considérablement accumulée. Cette difficulté a été vaincue en dernier lieu avec beaucoup de courage, &

fort ingénieusement, par M. Goubert, officier des vaisseaux du Roi, qui sçait joindre à la valeur la plus éprouvée, la sagacité des plus habiles ingénieurs, & qui est enfin venu à bout d'enlever un des vaisseaux qui ont péri en 1702, dans la rade de *Vigo* en Espagne; entreprise qui avoit été tentée inutilement, & à grands frais, par plusieurs compagnies formées tant en France qu'ailleurs. C'est dommage qu'un succès aussi heureux n'ait valu à M. Goubert que des applaudissemens; les espérances dont il pouvoit se flatter, avoient échoué sans retour avec le vaisseau: on avoit sans doute eu soin d'en ôter les effets à l'aspect du naufrage; on n'y trouva rien qui pût dédommager les entrepreneurs des grands frais ausquels cet ouvrage les a engagés.

IV. PROPOSITION.

Si le corps solide est moins pésant qu'un pareil volume de la liqueur dans laquelle il est plongé, il surnage en partie; ce qui reste plongé mesure une quantité de liqueur qui pése autant que le corps entier.

IX. EXPERIENCE.

PREPARATION.

Le vase représenté par la *Fig.* 9. est de verre, presque cylindrique, & garni par en-bas d'un robinet; on y met de l'eau à peu près jusqu'aux deux tiers, où l'on fait une marque; on y plonge ensuite une boule de cire bien ronde, & presque aussi grosse que le vaisseau est large; cette immersion éléve la surface de l'eau; on en ôte par le robinet, tant que la surface soit baissée jusqu'à la marque où elle étoit en premier lieu; on retire la boule de cire, on l'essuye, & on la pése contre la quantité d'eau qu'on a tirée du vase.

EFFETS.

La boule, & cette quantité d'eau, se font réciproquement équilibre; ou si cela n'est point à la rigueur, il s'en faut de si peu de chose, qu'il est aisé de voir que cette petite différence vient d'un défaut d'exactitude dans le procédé; car il suffit pour cela qu'en tirant l'eau du vase, il en soit sorti

quelques goutes de plus ou de moins qu'il ne faut.

EXPLICATION.

La boule de cire plongée ne s'enfonce point entiérement sous l'eau, parce qu'elle est un peu plus légére; mais la plus grande partie qui reste plongée, déplace une quantité d'eau qui s'éléve au-dessus de la marque. Lorsqu'on tire de l'eau par le robinet, jusqu'à ce que la surface revienne à cette même marque, on est sûr d'avoir la quantité déplacée par l'immersion de la boule, & puisque cette quantité d'eau fait équilibre à la boule entiére, n'est-ce pas une preuve, que *la partie plongée mesure une quantité de liqueur qui pése autant que le corps entier*, comme nous l'avons énoncé dans notre proposition?

CONSEQUENCES.

Il suit de la proposition précédente,

1°. Que d'un corps qui surnage, la partie plongée est d'autant plus petite, que la liqueur est plus dense, ou que le corps plongé est moins pésant.

2°. Qu'il y a toujours une partie plongée, lorsque le solide qui repose sur la liqueur, a une pésanteur & une épaisseur sensible. Car s'il est pésant, comme on le suppose, il faut quelque chose qui lui fasse équilibre ; & ce qui fait cet équilibre, c'est le volume de liqueur déplacé, comme nous l'avons prouvé dans la derniére expérience.

X. EXPERIENCE.

PREPARATION.

Dans un petit vase long & étroit, qu'on a rempli de quelque liqueur jusqu'aux trois quarts de sa capacité, *Fig.* 10. on plonge une petite bouteille de verre très-mince, qui a un long col gradué, & qui est lestée au fond avec un peu de mercure, afin qu'elle se tienne dans une direction perpendiculaire.

EFFETS.

Cette petite bouteille à long col, qu'on nomme communément *Aréométre*, ou *pése-liqueurs*, s'enfonce plus ou moins dans le vase, selon qu'il est

rempli d'une liqueur plus ou moins dense, c'est-à-dire, qu'il descend plus profondément dans le vin que dans l'eau, & dans l'eau de vie encore plus que dans le vin. Et si l'on met au haut de sa tige quelque petite lame de métal, il s'enfonce plus avant, quoique dans la même liqueur.

Explications.

La partie plongée de l'aréométre souléve autant de liqueur qu'il en faut pour faire équilibre à l'instrument entier. S'il pése une once, par exemple, il souléve moins d'eau que de vin, quant au volume, parce qu'il faut plus de vin que d'eau pour le poids d'une once, & comme il ne fait monter la liqueur qu'en s'enfonçant, il doit donc plonger plus avant, dans celle qui est la plus légére.

Si l'on augmente le poids de l'aréométre par l'addition de quelque lame de métal ou autrement, il s'enfonce plus avant, quoique dans la même liqueur, parce qu'alors il en faut une plus grande quantité pour lui faire équilibre.

APPLICATIONS.

Puiſque tous les corps qui flottent, comme nous venons de le faire voir par l'expérience de l'aréométre, s'enfoncent plus ou moins, ſelon la denſité du fluide; une barque chargée en mer aura donc moins de parties hors de l'eau, ſi elle vient à remonter une riviére; car l'eau ſalée péſe plus que l'eau douce, & les nageurs aſſûrent qu'ils en ſentent bien la différence. On doit donc avoir égard à cet effet, & ne pas rendre la charge auſſi grande qu'elle pourroit l'être, ſi l'on prévoit qu'on doive paſſer par une eau moins chargée de ſel, que celle où l'on s'embarque.

On a vû quelquefois des *iſles flottantes*, c'eſt-à-dire, des portions de terre aſſez conſidérables, qui ſe détachant du continent, & ſe trouvant moins péſantes que l'eau, ſe ſoutiennent à la ſurface, & flottent au gré des vents. L'eau mine peu à peu certains terrains qui ſont plus propres que d'autres à ſe diſſoudre; ces ſortes d'excavations s'augmentent avec le tems, & s'étendent au loin; le deſ-

ſus demeure lié par les racines des plantes & des arbres, & le sol n'eſt ordinairement qu'une terre bitumineuſe, fort légére, de ſorte que cette eſpéce de croute eſt moins péſante que le volume d'eau ſur lequel elle eſt reçûe, quand un accident quelconque vient à la détacher de la terre ferme, & la met à flot.

L'exemple de l'aréométre fait voir encore qu'il n'eſt pas beſoin, pour ſurnager, que le corps flottant ſoit d'une matiére plus légére que l'eau. Car cet inſtrument ne ſe ſoutient point en vertu du verre ou du mercure dont il eſt fait, mais ſeulement parce qu'il a, avec peu de ſolidité, un volume conſidérable qui répond à une quantité d'eau plus péſante. Ainſi l'on pourroit faire des barques de plomb, ou de tout autre métal, qui ne s'enfonceroient pas. Et en effet les chariots d'artillerie portent ſouvent, à la ſuite des armées, des gondoles de cuivre, qui ſervent à établir des ponts, pour le paſſage des troupes.

De

De la Balance hydrostatique, & de ses usages.

La balance hydroſtatique que nous avons employée pour les expériences précédentes, eſt un inſtrument fort commode pour connoître la péſanteur ſpécifique des fluides & des ſolides, qui peuvent être plongés ſans ſe diſſoudre & ſans changer de volume. Nous ne pouvons pas nous étendre beaucoup ſur ſes uſages, parce que ces ſortes de détails paſſent les bornes que nous nous ſommes preſcrites dans cet ouvrage; ceux qui ſeront curieux de les ſçavoir, pourront lire ce qu'en ont écrit Boyle, & après lui MM. Cotes, Deſaguilliers, s'Graveſande, &c. nous nous contenterons de faire voir que les effets de cette balance ne ſont que des applications des principes établis ci-deſſus, & nous nous bornerons à quelques exemples qui ſuffiront pour le prouver.



PREMIER USAGE.

Connoître la Pésanteur spécifique d'une Liqueur.

La pésanteur spécifique d'une matiére, c'est le poids qu'elle a sous un volume connu : c'est ce qu'on nomme aussi sa *densité*. Un solide entiérement plongé déplace un volume de liqueur égal à lui. On aura donc la solution du problême, si l'on a un moyen de connoître le poids de ce volume déplacé : or la quatriéme expérience nous a appris que ce poids est précisément celui que perd le solide par son immersion ; ainsi on procédera de la maniére qui suit.

Ayez un corps solide qui puisse se plonger sans changer de volume, & sans admettre la liqueur dans ses pores, comme du verre, par exemple ; ce corps peut être sphérique, cylindrique, cubique, &c. comme l'on veut. Suspendez-le avec un cheveu, ou un crin, au bras de la balance, pour connoître d'abord sa pésanteur absolue ; faites-le ensuite plonger entiérement dans la liqueur ; l'équilibre

ſera d'abord rompu par cette immerſion ; ce que vous ſerez obligé d'ajouter pour le rétablir, ſera juſtement le poids du volume de liqueur qui a été déplacé par le corps plongé. Si ce corps étoit un cube d'un pouce, & qu'après l'avoir plongé on eût ajouté 4 gros, il faudroit conclure qu'un pouce cube de la liqueur péſe 4 gros, ou une demi-once.

On peut objecter contre l'exactitude de ce procédé, que la gravité de ce cube de verre, péſé en l'air, n'eſt point ſa péſanteur abſolue, puiſque l'air, en qualité de fluide ambiant, lui ôte une partie de ſon poids ; mais le plomb qui le tient en équilibre, ſouffre une perte à peu près ſemblable ; & l'air eſt ſi léger, que la péſanteur reſpective & la péſanteur abſolue ſont ſenſiblement les mêmes, quand les corps qui y ſont plongés, n'ont que des volumes peu conſidérables.

Mais une attention qu'on ne ſçauroit porter trop loin dans ces ſortes d'expériences, c'eſt que le ſolide plongé, & la liqueur où ſe fait l'immerſion, ne varient point de den-

ſité pendant l'opération. Car ſi celle-ci ſe raréfie ou ſe condenſe, ou bien que le volume de celui-là augmente ou diminue, il en réſultera du mécompte; & il n'eſt que trop poſſible que cela arrive par le chaud, par le froid, & parce qu'on jugera peut-être de l'état d'une liqueur par ſon nom, ſans faire attention que tout ce qui s'appelle eau commune, eſprit-de-vin, &c. n'eſt pas toujours d'une égale denſité.

Pour remédier à une partie de ces inconvéniens, je voudrois qu'au lieu de plonger un corps ſolide de verre, on ſe ſervît d'une boule creuſe, terminée par un tube capillaire, & remplie de mercure comme un thermométre; par ce moyen on pourroit s'aſſurer du dégré de denſité de la liqueur, au moins de celui qui réſulte du froid ou du chaud actuel; & l'on ſeroit sûr en même tems, que le volume du corps plongé n'eſt point changé. Car ſi la température de la liqueur venoit à changer, on en ſeroit averti par l'aſcenſion ou l'abaiſſement du mercure dans le tube capillaire.

II. USAGE.

Comparer les pésanteurs spécifiques de deux liqueurs.

Lorsque l'on a connu la pésanteur spécifique de l'une des deux, par l'usage précédent, on répéte l'opération sur l'autre, & la différence des poids qu'il faut ajouter pour rétablir l'équilibre après l'immersion, est aussi celle de leurs pésanteurs spécifiques.

Dans ces sortes de comparaisons il faut bien prendre garde que le dégré de fluidité n'entre pour quelque chose. Il est des liqueurs plus visqueuses, plus difficiles à diviser, dans lesquelles l'immersion du corps solide se fait plus difficilement indépendamment de la densité ; quand cela est ainsi, il faut avoir recours à quelqu'autre procédé, pour connoître avec exactitude la pésanteur spécifique.



III. USAGE.

Comparer les gravités ſpécifiques de deux corps ſolides.

Par la cinquiéme expérience nous avons prouvé que des ſolides dont les péſanteurs abſolues ſont égales, en perdent, par l'immerſion, des quantités qui ſont proportionnelles à leurs volumes.

Mettez donc en équilibre dans l'air deux morceaux des matiéres propoſées; faites-les plonger enſuite entiérement dans deux vaſes remplis de la même liqueur. Si leurs volumes ſont égaux, l'équilibre ſubſiſtera, parce que les pertes ſeront égales de part & d'autre; s'ils ſont inégaux, le plus petit emportera l'autre; & ce qu'il faudra ajouter à celui-ci, pour le remettre en équilibre, ſera la différence qu'il y aura entre les gravités ſpécifiques des deux.

Si les corps en queſtion ne ſont point aſſez péſans pour ſe plonger tout-à-fait par leur propre gravité, on pourra y joindre des poids qui ne changeront rien à l'effet, s'ils ſont

parfaitement ſemblables de part & d'autre. Mais il faut bien prendre garde qu'il ne s'attache à la ſurface des corps plongés, des bules d'air, ou quelque choſe de gras, qui empêche la liqueur de s'y appliquer exactement de toutes parts; car leurs volumes alors ſeroient augmentés, & leur péſanteur en paroîtroit d'autant diminuée.

IV. USAGE.

Comparer la gravité ſpécifique d'un corps ſolide, avec celle d'une liqueur.

Quand on a péſé un corps ſolide dans l'air, ce qui lui reſte enſuite de ſon poids, lorſqu'il eſt plongé dans la liqueur, eſt la différence qu'il y a entre les péſanteurs ſpécifiques de ce corps, & du volume correſpondant de la liqueur. Si, par exemple, un morceau d'or péſe 19 gros dans l'air, & qu'il n'en péſe plus que 18, étant plongé dans l'eau commune, c'eſt une marque qu'une telle immerſion lui ôte $\frac{1}{19}$ de ſon poids, & que la pé-

ſanteur ſpécifique de l'eau eſt à celle de l'or comme 1 à 19.

Remarques ſur l'aréométre, ou péſe-liqueurs.

L'ARÉOMETRE que nous avons repréſenté par la *Fig.* 10. eſt encore un inſtrument avec lequel on peut connoître de deux liqueurs laquelle eſt la plus péſante ; mais ſi l'on veut s'en ſervir pour connoître au juſte le rapport des péſanteurs, il faut le conſtruire & l'employer avec des précautions dont on ſe diſpenſe pour l'ordinaire, & ſans leſquelles cependant on n'en peut rien attendre d'exact.

1°. Il faut que les liqueurs dans leſquelles on plonge l'aréométre, ſoient exactement au même dégré de chaleur ou de froid, afin qu'on puiſſe être sûr que leur différence de denſité ne vient point de l'une de ces deux cauſes, & que le volume de l'aréométre même n'en a reçu aucun changement.

2°. Que le col de l'inſtrument ſur lequel ſont marquées les graduations,

soit par-tout d'une grosseur égale ; car s'il est d'une forme irréguliére, les degrés marqués à égales distances, ne mesureront pas des volumes de liqueur semblables en se plongeant ; il sera plus sûr & plus facile de graduer cette échelle relativement à la forme du col, en chargeant successivement l'instrument de plusieurs petits poids bien égaux, dont chacun produira l'enfoncement d'un degré.

3°. On doit avoir soin que l'immersion se fasse bien perpendiculairement à la surface de la liqueur, sans quoi l'obliquité empêcheroit de compter avec justesse le degré d'enfoncement.

4°. Comme l'usage de cet instrument est borné à des liqueurs qui différent peu de pésanteur entr'elles, on doit bien prendre garde que la partie qui surnage ne se charge de quelque vapeur ou saleté qui occasionneroit un mécompte, dans une estimation où il s'agit de différences peu considérables. Et lorsque l'aréométre passe d'une liqueur à l'autre, on doit bien prendre garde que sa surface ne porte aucun enduit

qui empêche que celle où il entre ne s'applique exactement contre sa surface.

5°. Enfin malgré toutes ces précautions, il reste encore la difficulté de bien juger le degré d'enfoncement, parce que certaines liqueurs s'appliquent mieux que d'autres au verre, & qu'il y en a beaucoup qui lorsqu'elles le touchent, s'élévent plus ou moins au-dessus de leur niveau.

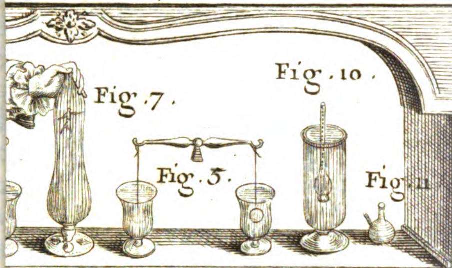
Quand on se sert de l'aréométre dont il est ici question, il faut le plonger d'abord dans la liqueur la moins pésante, & remarquer à quelle graduation se rencontre sa surface : ensuite il faut le rapporter dans la plus dense, & charger le haut de la tige ou du col, de poids connus, jusqu'à ce que le degré d'enfoncement soit égal au premier. La somme des poids qu'on aura ajoutés, pour rendre cette seconde immersion égale à la premiére, sera la différence des pésanteurs spécifiques entre les deux liqueurs.

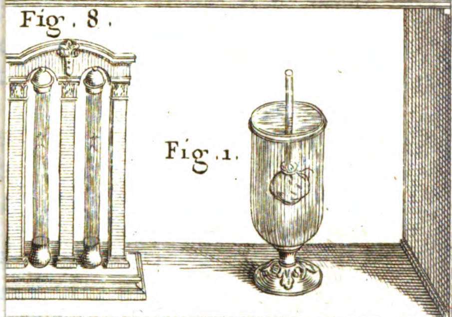
M. Homberg, & plusieurs Physiciens après lui, se sont servis pour

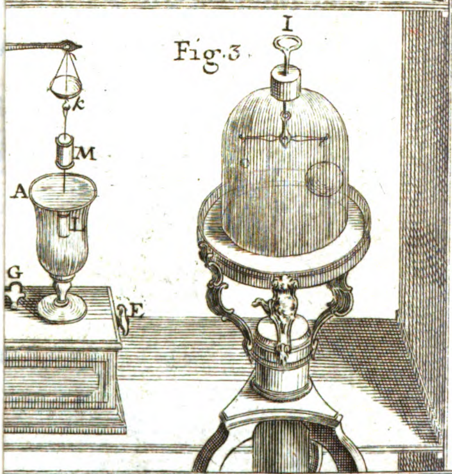
péser les liqueurs, d'un petit vaisseau de verre mince que l'on voit représenté dans la *Fig.* 11. on a pratiqué à côté du col un petit tuyau montant, par le moyen duquel on a prétendu emplir la bouteille toujours également, parce qu'il est plus facile d'estimer la hauteur juste de la liqueur dans un petit tuyau, que dans le col de l'instrument où la surface est plus étendue. De cette maniére on a compté mesurer toujours des volumes égaux, dont il seroit aisé de connoître la pésanteur en les appliquant à une balance. Mais nous ne pouvons dissimuler que cette méthode est sujette, comme les autres, à plusieurs inconvéniens; le plus grand de tous, c'est que le petit tuyau montant est fort étroit, & que les liqueurs ne s'y mettent point de niveau; la plûpart s'y tiennent plus élevées, comme nous le dirons bientôt, & cet excès n'est pas le même pour toutes.

PLUSIEURS Sçavans se sont donné la peine d'examiner les pésanteurs spécifiques d'un grand nombre de matiéres, tant solides que fluides, &

de les rédiger en tables. On doit assurément leur sçavoir gré de ce travail, & l'on en sent toute la difficulté quand on pensé aux attentions scrupuleuses, & au tems qu'on est obligé de donner à ces sortes de recherches, lorsqu'elles deviennent nécessaires; mais leurs expériences, quelque exactes qu'elles aient été, ne peuvent nous servir de régles que comme des à-peu-près. Car les individus de chaque espéce, varient entre eux, quant à la densité; & l'on ne peut pas dire que deux diamans, deux morceaux de cuivre, deux gouttes de pluye, &c. soient parfaitement semblables. Ainsi quand il est question de sçavoir au juste la pésanteur spécifique de quelque corps, il faut le mettre lui-même à l'épreuve; c'est le seul moyen d'en bien juger. Il y a à la vérité mille occasions où cette grande exactitude est superflue, & alors on peut s'en rapporter aux recherches d'un Physicien habile & exact; c'est dans cette vûe que nous avons placé ici une table dressée sur les expériences de M. Muschenbroek, dont on connoît suffisamment la sagacité & l'exactitude.


Fig. 7.
Fig. 10.
Fig. 5.
Fig. 11


Fig. 8.
Fig. 1.


Fig. 3
I
k
M
A
L
G
E

Les pésanteurs spécifiques de toutes les matiéres énoncées dans cette table, sont comparées à celle de l'eau commune ; & l'on prend pour eau commune celle de la pluye dans une température moyenne. Ainsi lorsqu'on verra dans la table, eau de pluye . . . 1, 000, or de coupelle 19, 640, air 0, 001 $\frac{1}{4}$, c'est-à-dire, que la pésanteur spécifique de l'or le plus fin, est à celle de l'eau comme 19 $\frac{1}{2}$ à peu près, à 1; & que la gravité de l'air n'est presque que la milliéme partie de celle de l'eau.

Table alphabétique des matiéres les plus connues, tant solides que fluides, dont on a éprouvé la pésanteur spécifique.

Acier flexible ou non trempé.	7, 738.
Acier trempé.	7, 704.
Agathe d'Angleterre. . . .	2, 512.
Air.	0, 001 $\frac{1}{4}$.
Albatre.	1, 872.
Alun.	1, 714.
Ambre.	1, 040.
Amiante.	2, 913.
Antimoine d'Allemagne. .	4, 000.

Antimoine d'Hongrie.	4, 700.
Ardoise bleue.	3, 500.
Argent de coupelle.	11, 091.
Bismuth.	9, 700.
Bois de Bresil.	1, 030.
——— Cedre.	0, 613.
——— Orme.	0, 600.
——— Gayac.	1, 337.
——— Ebenne.	1, 177.
——— Erable.	0, 755.
——— Fresne.	0, 845.
——— Bouis.	1, 030.
Borax.	1, 720.
Caillou.	2, 542.
Camphre.	0, 995.
Charbon de terre.	1, 240.
Cinabre naturel.	7, 300.
——— artificiel.	8, 200.
Cire jaune.	0, 995.
Corail rouge.	2, 689.
—— blanc.	2, 500.
Corne de boeuf.	1, 840.
——— cerf.	1, 875.
Cryſtal de roche.	2, 650.
—— d'Islande.	2, 720.
Cuivre de Suede.	8, 784.
—— jetté en moule.	8, 000.
Diamant.	3, 400.
Ecailles d'huitres.	2, 092.

Encens.	1, 071.
Eau commune ou de pluye.	1, 000.
—— distillée.	0, 993.
—— de riviére.	1, 009.
Esprit-de-vin rectifié.	0, 866.
—— de térébenthine. . .	0, 874.
Etain pur.	7, 320.
—— allié d'Angleterre. . .	7, 471.
Fer.	7, 645.
Gomme arabique.	1, 375.
Grenat de Bohême.	4, 360.
—— de Suede.	3, 978.
Huile de lin.	0, 932.
—— d'olives.	0, 913.
—— de vitriol.	1, 700.
Karabé ou ambre jaune. . .	1, 065.
Lait de vache.	1, 030.
Litarge d'or.	6, 000.
—— d'argent.	6, 044.
Maganése.	3, 530.
Marbre noir d'Italie.	2, 704.
—— blanc d'Italie.	2, 707.
Mercure.	13, 593.
Noix de Galles.	1, 034.
Or d'essay ou de coupelle.	19, 640.
—— d'une guinée. .	18, 888.
Os de boeuf.	1, 656.
Pierre sanguine.	4, 360.
—— calaminaire.	5, 000.

c

Pierre à fusil opaque.	2, 542.
——— transparente. .	2, 641.
Poix.	1, 150.
Sang humain.	1, 040.
Sapin.	0, 550.
Sel de Glauber.	2, 246.
—— ammoniac.	1, 453.
—— gemme.	2, 143.
—— polycreste.	2, 148.
Soufre commun.	1, 800.
Talc de Venise.	2, 780.
Tartre.	1, 849.
Turquoise.	2, 508.
Verd-de-gris.	1, 714.
Verre blanc.	3, 150.
Verre commun.	2, 620.
Vin de Bourgogne.	0, 953.
Vinaigre de Vin.	1, 011.
——— distillé.	1, 030.
Vitriol d'Angleterre.	1, 880.
Yvoire.	1, 825.



APPENDICE,

APPENDICE.

Touchant les tuyaux capillaires, & les causes immédiates de la fluidité & de la solidité des corps.

ARTICLE PREMIER.

Des tuyaux capillaires.

JE place ici ce qu'il importe de sçavoir touchant les tuyaux capillaires, comme des exceptions aux loix de l'hydrostatique, qui ont été établies précédemment. Ce n'est pas que je pense qu'il soit absolument impossible de rappeller à ces loix générales ce qu'il y a de singulier en apparence dans ces sortes de phénoménes : mais quoique cela ait été tenté plusieurs fois, & par des Physiciens du premier ordre, nous ne dissimulerons point que le succès en est encore douteux, & que ce qu'ils ont dit sur cette matiére, ne peut être reçu que comme des probabilités, ingénieuses pour la plûpart, mais

qui laissent toujours des difficultés à résoudre. D'autres peut-être plus heureux dans leurs recherches, trouveront le moyen de concilier avec des principes généralement avoués, ces effets à qui l'on seroit tenté d'imaginer des causes nouvelles & d'un genre particulier, si l'on ne sçavoit qu'en Physique l'imagination n'a pas grand poids, si l'expérience ne la soutient.

On appelle *tubes*, ou *tuyaux capillaires*, ceux qui sont menus : ils peuvent être faits de verre, ou de toute autre matiére capable de contenir les liqueurs. Ce nom leur vient, sans doute, de la ressemblance qu'ils peuvent avoir avec les cheveux, que l'on regarde communément comme de petits canaux creux dans toute leur longueur, & capables de transmettre certaines humeurs.

Cette comparaison néanmoins ne limite pas la grosseur des tubes capillaires à celle d'un cheveu ; ceux dont on se sert communément pour les experiences sont beaucoup moins menus, & les effets qui sont propres à ces sortes de tuyaux, se laissent en-

core appercevoir, quand leur diamétre égale deux lignes, & même deux lignes & demie. Leur forme est tout-à-fait indifférente : deux morceaux de glace de miroir, dont les plans s'approchent parallélement à une distance convenable, produisent les mêmes effets qu'une suite de petits tuyaux ; & tous les corps spongieux, ou assez poreux pour admettre les liqueurs, peuvent être aussi considérés comme des assemblages de canaux capillaires. Nous allons exposer dans les expériences qui suivent, ce qu'il y a de plus intéressant dans cette matiére. On verra dans les préparations les différentes dimensions que peuvent avoir les tuyaux capillaires, & leurs propriétés se connoîtront par les effets résultans de chaque procédé.

PREMIERE EXPERIENCE.

PREPARATION.

Dans un petit gobelet *AB*, *Fig.* 12, que l'on emplit successivement de différentes liqueurs, on plonge le petit tuyau *CD*, dont les deux ex-

trémités sont ouvertes, & que l'on a attaché sur une petite bande de carton blanc divisé selon sa longueur en parties égales.

EFFETS.

Premiére propriété des tubes capillaires.

Dès que le tube est plongé, la liqueur s'éléve vers *D*; & si l'on enfonce le tube plus avant dans le gobelet, la liqueur monte d'autant au-dessus de l'endroit où elle s'étoit fixée d'abord; cet effet est général pour toutes les liqueurs; il en faut seulement excepter une, dont nous ferons mention ci-après.

II. EXPERIENCE.

PREPARATION.

On procéde dans cette expérience comme dans la précédente; les liqueurs dont on emplit successivement le petit gobelet, sont l'urine, l'esprit de vin, l'esprit de nitre, l'eau salée, l'huile de vitriol. Il faut avoir soin de faire passer de l'eau nette dans le petit tube, à chaque fois que l'on

change de liqueur; faire enſorte qu'elles ayent toutes la même température, & remarquer à quel dégré chacune s'éléve.

EFFETS.

Seconde propriété.

Ces liqueurs s'élévent dans le même tube à différentes hauteurs, ſelon l'ordre qui ſuit, en commençant par celles qui montent le plus haut; l'urine, l'huile de vitriol concentrée, l'eau ſalée, l'eſprit de nitre & l'eſprit de vin; ce qui fait voir que les liqueurs ne s'élévent point dans les tubes capillaires, en raiſon renverſée de leur denſité, puiſque l'eſprit de vin, qui eſt le plus léger, eſt celui de tous ces liquides qui s'éléve le moins.

III. EXPERIENCE.

PREPARATION.

Dans de l'eau colorée on plonge deux tubes de même longueur, mais dont les diamétres intérieurement différent de moitié. *Fig.* 13.

EFFETS.

Troisiéme propriété.

L'eau s'éléve une fois plus haut, dans celui des deux tubes qui a le diamétre une fois plus petit ; & comme cet effet suit toujours de même le rapport que les diamétres ont entr'eux, on peut conclure en général que les liqueurs s'élévent dans les tubes capillaires en raison inverse de leur largeur, c'est-à-dire, qu'elle y monte d'autant plus haut, qu'ils sont plus étroits.

IV. EXPERIENCE.

PREPARATION.

Il faut répéter les expériences précédentes, en employant du mercure au lieu des liqueurs dont on s'est servi, ou bien verser du mercure dans un scyphon renversé, dont une des branches soit capillaire, comme le représente la *Fig.* 14.



EFFETS.

Quatriéme propriété.

On remarquera que le mercure se tient toujours plus bas que son niveau, & que son abaissement est d'autant plus grand, que le tube est plus étroit. Dans le scyphon renversé, par exemple, au lieu de s'élever en *G* dans la branche capillaire, pour être de niveau à celui de l'autre branche, il se tient en *H*, & se tiendroit encore plus bas, si ce tuyau qui le contient étoit d'un diamétre plus petit.

Jusqu'à présent on ne connoît que le mercure qui se comporte ainsi dans les tubes capillaires: il est probable que toutes les matiéres métalliques, qu'on tiendroit en fusion, feroient la même chose; j'en juge par l'étain & le plomb fondus que j'ai mis à l'épreuve.

EXPLICATIONS.

Tous ces faits, comme l'on voit, paroissent contraires aux régles ordinaires de l'hydrostatique, par lesquelles nous avons vû qu'une liqueur se met toujours en équilibre avec elle-même, soit dans un seul & même vaisseau, soit dans plusieurs qui com-

muniquent ensemble ; que si elle obéit à une force qui l'éléve au-dessus de son niveau, elle lui céde proportionnellement à sa densité, &c. Ce que l'on voit de différent dans les tubes capillaires, n'est connu que depuis un siécle tout au plus ; cette découverte s'est faite dans un tems où l'on pensoit déja que tout ce qui se présente à expliquer en Physique, ne peut l'être que par des causes méchaniques, & qui se présentent à l'esprit d'une maniére intelligible ; les Physiciens les plus habiles ont travaillé en conséquence ; mais le succès a-t-il répondu à leur zéle ?

On peut ranger en trois classes les différentes opinions qui ont été proposées sur cette matiére.

La premiére comprend celles qui attribuent ces phénoménes à la pression inégale du fluide environnant, en supposant qu'il exerce son poids plus librement, & d'une maniére plus complette, sur la surface du vaisseau *A B*, que par l'orifice supérieur du tuyau plongé. *Fig.* 12.

Ce fluide environnant, selon quelques-uns, est l'air dont les parties rameuses

meuſes s'embarraſſent, & ſe meuvent difficilement dans un canal étroit, tandis qu'il agit ſans obſtacle ſur la ſurface du gobelet. Cette penſée eſt tout-à-fait naturelle & ſimple ; mais une ſeule expérience la rend preſque inſoutenable : tout ce que les tuyaux capillaires font en plein air, ils le font de même ſous le récipient d'une machine pneumatique où l'on a fait le vuide.

Que reſte-t-il à répondre ? Dira-t-on que le vuide n'eſt jamais parfait ? & que ce qui reſte d'air, après les derniers efforts de la pompe la plus exacte, eſt encore capable de ſoutenir quelques pouces d'eau au-deſſus de ſon niveau ?

On ſent aiſément que la réponſe ne ſatisfait pas à l'objection. Cependant elle n'eſt point abſolument ſans force, tout l'air du récipient ſe raréfie également, ſi la preſſion ſur la ſurface du gobelet diminue, la réſiſtance dans le tuyau décroît auſſi par proportion ; & les cauſes de l'inégalité d'action ſubſiſtent. Mais une ſeconde expérience fait voir qu'on ne peut guéres ſoutenir cette inégalité de

pression, qui suppose que l'air n'agit pas librement dans le tuyau. Si cela étoit, il faudroit que la liqueur s'élevât proportionnellement à la longueur du tube; car il est certain que si l'air y trouvoit de l'embarras, il en éprouveroit davantage dans un plus long que dans un plus court: cependant cela n'arrive point; c'est le diamétre du tube qui régle le degré d'élévation; & quand l'eau est arrivée au point où elle doit monter, elle ne baisse point, quoiqu'on retranche de la partie du tuyau qui est au-dessus d'elle.

Ces raisons ayant fait abandonner l'air grossier, on s'en est pris à un autre fluide plus subtil, & tel qu'il subsiste dans les vaisseaux où l'on fait le vuide de Boyle. On lui suppose des parties globuleuses, & l'on démontre qu'une colonne d'un tel fluide ne remplit jamais bien exactement un tube, & qu'une pression dépendante de cette plénitude, doit diminuer à proportion que le tube est plus étroit; de-là vient, dit-on, le défaut d'équilibre entre la pression qui se fait sur la liqueur dans le tuyau, & celle qui

s'exerce ſur la ſurface du vaſe où l'on plonge le tuyau.

Cette hypothéſe eſt ingénieuſe; elle fait agir un fluide dont on ne peut guéres conteſter l'exiſtence; mais elle lui accorde des fonctions qu'on ne peut admettre ſans peine. Un milieu dont les parties ſont plus ſubtiles que celles de l'air commun, & qui le ſont aſſez pour pénétrer les pores du verre, laiſſe-t-il tant de vuide dans le tube, & s'applique-t-il ſi mal aux parois du verre, que ſa preſſion différe ſenſiblement de celle qu'il exerce en-dehors, ſur la ſuperficie du réſervoir? D'ailleurs, pourquoi la preſſion plus libre & plus entiére ſur la ſurface du vaſe, n'éléve-t-elle pas les liqueurs à des hauteurs qui ſoient proportionnelles à leurs denſités? Et enfin, pour citer encore l'expérience, il paroît que l'effet dont il s'agit, ne dépend point d'une preſſion qui ſoit plus ou moins libre, ſelon la largeur de la baſe; car au lieu de plonger le tube dans un vaſe, ſi l'on fait couler une goute de liqueur en-dehors, & ſelon ſa longueur, dès qu'elle eſt parvenue à l'orifice inférieur, elle re-

monte dans le tube comme en tout autre cas.

Voilà pourtant ce que l'on a dit de plus vraiſemblable pour expliquer l'aſcenſion des liqueurs dans les tubes capillaires, par la preſſion inégale d'un fluide environnant. Voyons ſi les opinions de la ſeconde claſſe ſont plus heureuſes.

Celles-ci, quoique partagées par différentes vûes, ſe réuniſſent en un point : elles prétendent, que, lorſqu'on a plongé le bout d'un tube capillaire, la petite colonne de liqueur qu'il renferme, perd ſon poids par une adhérence au verre, & que ceſſant de péſer ſur le fond du vaſe où ſe fait l'immerſion, les colonnes extérieures au tube, & qui exercent librement leur péſanteur, en pouſſent une ſemblable ſous la premiére, une autre ſous la ſeconde, & que toutes ces parties s'accumulent en une colonne totale, dont la hauteur eſt proportionnelle au frottement qui augmente comme le diamétre du tuyau diminue.

On conçoit bien comment une petite colonne d'eau, une fois placée

dans un tube capillaire, y eſt ſoutenue par le frottement, ou par l'adhérence aux parois du verre; mais je ne comprens pas de même comment l'eau du vaſe, par ſon poids, la déplace & la ſouléve, pour lui ſubſtituer une colonne ſemblable : car cette eau environnante n'a de force qu'autant qu'il lui en faut, pour pouſſer dans le tube une colonne qui rempliſſe ſa partie plongée, ou (ce qui eſt la même choſe) elle ne peut porter cette colonne que juſqu'à ſon niveau; mais comment l'y portera-t-elle, s'il faut qu'elle ſouléve en même tems une colonne ſemblable qui occupe la place? Dira-t-on que celle-ci ne péſe point ſur le fond, parce qu'elle eſt retenue par le frottement du verre? Cela eſt vrai, tant qu'elle eſt en repos; mais s'il faut la faire monter, il faut vaincre ſon poids, ou, ce qui eſt équivalent, l'adhérence ou le frottement qui a vaincu ſon poids.

Mais pour faire connoître combien ce ſyſtême s'accorde peu avec l'expérience, il ſuffira de dire que les tubes capillaires ont leurs effets auſſi

promptement, & d'une maniére aussi complette, quand on ne fait que toucher, le plus légérement qu'il est possible, les liqueurs, comme lorsqu'on les y plonge fort avant ; ce qui dénote incontestablement, que la pression des colonnes qui entourent la partie plongée du tuyau, n'entre pour rien dans cet effet.

Aussi voyons-nous que quelques-uns de ceux qui ont assigné cette cause, en ont senti eux-mêmes l'insuffisance. » L'eau, disent-ils, demeu» re suspendue dans les tubes capillai» res, par son adhérence naturelle au » verre; mais elle y est élevée par une » autre cause. « Quelle est donc cette cause qu'on associe à l'adhérence, & qui doit nous expliquer les effets des tubes capillaires ? » c'est, dit-on, la » même force qui fait que deux goutes » d'eau se joignent ensemble, lorsqu'on » les approche de fort près. » Passons à la troisiéme classe.

Ici l'on suppose que le verre attire la liqueur; mais sur quoi cette supposition est-elle fondée ? Comment faut-il entendre cette attraction ? & quelle régle suit-elle dans ses effets ?

Car si l'on n'en avoit d'autres preuves que le fait en question, & si l'on faisoit de cette cause une qualité abstraite qui ne fût asservie à aucune mesure, cela ressembleroit beaucoup aux sympathies & aux qualités occultes des Péripatéticiens, si justement & si généralement bannies de la Physique moderne, c'est-à-dire, de la Physique raisonnable.

Les Physiciens qui admettent l'attraction, (car il y en a un assez grand nombre qui tiennent cette opinion, & nous ne dissimulerons pas que parmi ceux qui l'ont suivie, il s'en trouve quelques-uns, dont le nom seul pourroit prévenir en faveur de ce sentiment, si l'autorité devoit être la régle de nos connoissances physiques;) ces Physiciens, dis-je, se partagent en deux classes. Les uns, conformément à l'esprit de M. Newton, regardent l'attraction comme un fait qui a lieu dans toute la nature, & qui pourroit avoir, comme tous les autres, une cause méchanique qu'il est louable de chercher, mais qu'ils désespérent, en quelque façon, de pouvoir trouver. Les autres tranchent le

mot ; plus hardis en cela que leur chef, ils prétendent que la vertu attractive est un principe qui vient immédiatement de la volonté du Créateur. Selon les premiers, quand deux corps s'approchent, ou se tiennent unis l'un à l'autre, sans qu'on apperçoive ce qui cause leur réunion ou leur adhérence, c'est un effet dont il y a beaucoup d'exemples, & à qui l'on donne le nom particulier d'*attraction*, seulement pour le distinguer d'un grand nombre d'autres faits semblables en apparence mais dont la cause est connue. Selon les derniers, tout cela se fait en vertu d'une force innée, d'un penchant naturel, par lequel, de lui-même, & sans aucune impulsion étrangére, un corps se porte vers un autre, & agit sur lui avant que de le toucher, ni par lui-même, ni par d'autres corps intermédiaires.

Ceux qui n'admettent les attractions que comme des faits, me paroissent être dans la route ordinaire. Les Cartésiens les plus fidélement attachés aux causes méchaniques, s'appuyent tous les jours sur des phénoménes, dont la cause est encore

obscure, & leur donnent tels noms qu'il leur plaît : l'*adhérence*, la *viscosité*, la *flexibilité*, le *ressort* de certaines matiéres, servent souvent à expliquer leurs propriétés, & l'on n'en est pas choqué. On ne doit point l'être non plus du mot d'*attraction*, s'il n'exprime qu'un fait qu'on se dispense d'expliquer.

Mais doit-on penser de même de la vertu attractive, considérée comme principe de la nature ? Je passe qu'elle ne soit point métaphysiquement impossible, (& c'est une grace que tout le monde ne lui fait pas ;) je suppose avec ceux qui ont le mieux défendu cette cause, que le Créateur en établissant l'impulsion, comme la cause la plus ordinaire des mouvemens des corps, ait été libre d'établir aussi l'attraction, & que ces deux principes ne soient point incompatibles ; qu'en peut-on conclure, sinon que Dieu a été le maître d'employer deux moyens au lieu d'un ? Mais de ce qu'une chose pourroit être, s'ensuit-il qu'elle est en effet ? Si certains mouvemens n'ont point encore été bien expliqués par les loix de l'im-

pulsion, sont-ils démontrés inexplicables? & faudroit-il moins qu'une telle démonstration, pour autoriser l'introduction d'un nouveau principe, sur-tout quand on sçait que la nature affecte autant de simplicité dans les causes, que de fécondité dans les effets; que l'esprit humain borné dans ses connoissances, ne peut jamais se flatter d'avoir apperçu tout ce qu'il y a à voir, & qu'il n'a jamais été moins éclairé sur les effets naturels, que quand il s'est permis des explications arbitraires. Je trouve fort sage & fort judicieuse cette pensée d'un Sçavant *, qui avoit eu pendant sa vie bien des occasions de sçavoir tout ce qu'on peut dire de favorable pour le systême des attractions, & en même tems tout ce qu'on peut reprocher à l'emploi qu'on a fait des impulsions. « Il ne faut pas nous flatter, » dit-il, que dans nos recherches de » Physique nous puissions jamais nous » mettre au-dessus de toutes les diffi» cultés; mais ne laissons pas de phi» losopher toujours sur des principes » clairs de méchanique; si nous les » abandonnons, toute la lumière que

* *M. Saurin, Mem. de l'Acad.* 1709. *pag.* 131.

» nous pouvons avoir est éteinte : &
» nous voilà replongés de nouveau
» dans les anciennes ténébres du Pé-
» ripatétisme, dont le ciel nous veuil-
» le préserver. »

M. Newton voyant dans les corps qui nous environnent, quantités d'attractions, c'est-à-dire, des effets qu'on peut nommer ainsi, soupçonna qu'il y en avoit par-tout ; & s'arrêtant moins à expliquer ces effets qu'à les mesurer, il supposa que toutes les parties de la matiére se portoient réciproquement les unes vers les autres, & que deux corps par conséquent s'attiroient en raison directe de leurs masses ; que si l'un des deux, par exemple, contient une fois plus de parties, son attraction est double de celle de l'autre. Il lui parut encore que cette tendance réciproque des corps ne devoit pas être également forte de loin comme de près ; & quelques raisons le déterminérent à croire, que cette action, semblable à toutes celles qui s'étendent en forme de sphére, pourroit bien être en raison inverse du quarré de la distance, c'est-à-dire, qu'à deux dégrés d'éloigne-

ment les corps s'attireroient 4 fois moins, à trois degrés neuf fois moins, à quatre degrés ſeize fois moins, &c.

Juſqu'ici ce n'eſt que ſoupçon ; & que pouvoit-ce être autre choſe, ſelon l'idée même que M. Newton s'étoit faite de l'attraction ? Cette force, ſelon lui, eſt proportionnelle à la maſſe des corps ; tout ce qui eſt en notre diſpoſition eſt ſi petit, en comparaiſon du globe ſur lequel nous ſommes, que l'attraction de celui-ci rend inſenſibles toutes les autres petites attractions particuliéres, comme la lumiére du ſoleil empêche qu'on apperçoive celle d'une bougie. Il falloit donc tranſporter cette hypothéſe à des corps iſolés, & aſſez éloignés les uns des autres, pour voir, ſi l'on pouvoit ſuppoſer qu'ils s'attiraſſent, & ſi leur attraction ſe faiſoit ſuivant les loix qu'on avoit imaginées ; car, encore une fois, ces loix ne pouvoient ſe vérifier dans les petites attractions, & ſi l'on pouvoit en douter, l'attraction en général étoit une hypothéſe mal étayée. Le Philoſophe Anglois ſentant mieux qu'un autre, combien l'expérience a d'autorité dans les

questions de Physique, & ne pouvant pas la faire parler, au moins d'une maniére assez décisive, sur la surface de la terre, chercha des preuves dans un champ plus vaste, & qui lui étoit assez connu. Il compara le mouvement des astres aux conséquences de son principe, & il y trouva tant de conformité, qu'on est tenté de croire que ce grand homme a deviné le secret de la nature.

Quelque avantage que puisse avoir l'hypothése Newtonienne sur toutes celles qui l'ont précédé; quoiqu'elle explique d'une maniére plus complette les mouvemens des astres, & qu'elle s'étende jusqu'à rendre raison de leurs irrégularités apparentes, le fond de la chose reste toujours à juger. Les raisonnemens de M. Newton, (je l'avoue,) ménent à croire que les planétes ont une tendance réciproque les unes vers les autres; que cette force agit selon les loix qu'il lui attribue: mais tout cela peut être primitivement l'effet de quelque impulsion physique, & M. Newton n'a osé prétendre le contraire. De quel droit ses disciples voudroient-ils donc

convertir l'attraction de fait, en vertu inhérente, en attribut primitif, en nouveau principe? est-ce qu'en revenant sur les faits qui ont porté le maître à soupçonner l'attraction générale, ils y auroient vû autre chose que lui? Auroient-ils apperçû dans la chose même, l'impossibilité d'une explication méchanique? ou bien prendroient-ils pour des preuves de l'attraction, toutes les applications infructueuses que l'on a faites jusqu'ici de l'impulsion, à certains phénoménes difficiles à expliquer? Les deux premiéres raisons n'ont encore été alléguées par personne; & ceux qui ont hazardé la troisiéme, ont manqué de logique: car ce n'est pas raisonner en régle, que de dire, *Ceci n'est point expliqué par les loix de l'impulsion, donc c'est un effet de la vertu attractive*: il faudroit préalablement faire deux choses, 1°. prouver que ces deux principes subsistent, 2°. que le premier ne peut point avoir lieu dans le fait en question.

Ces sortes de phénoménes après tout, qui, suivant les nouveaux Newtoniens, indiquent l'attraction, sont-

ils donc comme ils le prétendent, aussi fréquens que ceux qui prouvent l'impulsion? & tiennent-ils à la nature par autant d'endroits spécialement différens, qu'on pourroit se l'imaginer?

Quand on y regarde de près, on voit que tout ce qu'on a tant de peine à expliquer par la pression des fluides environnans, ou par toute autre cause méchanique, à quelques exceptions près, se peut aisément rapporter aux tubes capillaires; telle est l'ascension des liqueurs dans les corps spongieux, telles sont même les dissolutions, effervescences, & autres opérations chymiques, où il se fait une pénétration réciproque d'une matiére dans les pores d'une autre: que sçais-je même, si l'on ne pourroit point encore rappeller ici cette union spontanée de deux goutes d'eau qui se confondent en une, avant qu'une cause externe & connue occasionne le contact? car tous les corps, & sur-tout les fluides, s'exhalent en vapeurs; ils sont environnés d'une petite atmosphére plus rare, plus poreuse que la masse, & deux goutes d'eau, par conséquent, se touchent

avant que nous nous en appercevions.

L'école d'Ariſtote croyoit à l'horreur du vuide, parce qu'il lui ſembloit en voir des marques dans toute la nature ; l'adhérence des corps polis, la difficulté d'écarter les panneaux d'un ſoufflet bouché de toutes parts, l'aſcenſion de l'eau dans les pompes aſpirantes, la réſiſtance du piſton d'une ſeringue dont le bout eſt fermé, &c. dès que le poids de l'air fut connu, tous ces phénoménes que l'on avoit regardés juſques-là ſéparément comme des preuves du principe obſcur, ſe ramenérent tous facilement à la vraie cauſe. Cet événement eſt une leçon pour ceux qui croyent voir partout des marques de la vertu attractive. Si toutes ces preuves prétendues, qui ſemblent dire la même choſe en tant de maniéres différentes, ſont cependant réductibles au même genre ; ſi tout ce que les partiſans des attractions ont de plus fort à citer, n'eſt que le phénoméne des tuyaux capillaires préſenté ſous différentes formes, il y a ſans doute un cercle vicieux dans leur raiſonnement : car ſi l'on ſe ſert de la vertu

attractive

attractive pour expliquer les tubes capillaires, & que l'on appelle ces mêmes tubes en preuves de l'attraction; de deux choses l'une, ou l'on manque à prouver, ou l'explication porte à faux; c'est, comme l'on dit, supposer ce qui est en question. Quel est l'homme sensé qui n'ayant nulle connoissance du vent & de sa force, voudroit croire de prime abord, que c'est l'impulsion de l'air qui fait tourner tous les moulins à vent, qui transporte les vaisseaux d'un côté à l'autre de l'océan, & qui opére tous les mouvemens de cette espéce? sur-tout s'il avoit vû toute sa vie des moulins à bras, & des bateaux traînés avec des cordes.

Mais supposons pour un moment, que la vertu attractive est prouvée d'ailleurs, & voyons ce qu'elle vaudra entre les mains des plus habiles Newtoniens, pour expliquer l'effet des tubes capillaires.

« Le verre, dit-on, attire l'eau plus
» que l'eau ne s'attire elle-même: dès
» que l'orifice du tube vient à la tou-
» cher, elle s'éléve jusqu'à ce que son
» poids fasse équilibre à la vertu at-

» tractive qui réside dans la surface
» intérieure du tuyau.

» L'eau s'éléve plus haut dans les
» petits tubes que dans les gros ; par-
» ce que leur surface est plus grande
» relativement à la solidité de la co-
» lonne d'eau, & les parties du mi-
» lieu sont moins éloignées du verre
» qui les attire.

» Le mercure se tient plus bas que
» le niveau dans ces sortes de tubes,
» parce qu'étant plus dense que le
» verre, il s'attire plus lui-même que
» le tuyau ne peut l'attirer.

A la premiére vûe l'attraction figure assez bien ici ; mais examinons la chose de plus près, & suivons les conséquences du principe qui sert de fondement à ces explications. Tous les corps pénétrables à l'eau, & qu'on doit regarder à cet égard comme des tubes capillaires, n'admettent - ils dans leurs pores, & n'élévent-ils au-dessus du niveau que les fluides moins denses qu'eux-mêmes ? La hauteur de la colonne élevée dans le tube, est-elle toujours réglée par l'excès d'attraction du verre, & par la pésanteur spécifique de la liqueur ? Ne

voit-on pas des liqueurs plus pésantes s'élever dans le même tube, plus haut que d'autres qui sont cependant plus légéres ? On sçait que l'expérience répond à ces questions, d'une maniére peu favorable à l'explication qu'on vient de voir. Mais laissons parler un des plus ingénieux * partisans de l'attraction ; voici son objection à laquelle il est difficile de répondre. M. Jurin Trans. Ph. n. 355. art. 1. & n. 363. art. 2.

« C'est un fait constant que les li» queurs s'élévent dans les tubes ca» pillaires en raison inverse de leur dia» métre : ainsi la colonne élevée au» dessus du niveau, étant d'un pouce » de hauteur dans un tube d'une demi» ligne de largeur, dans un tube une » fois plus gros elle aura 6 lignes. Mais » cette derniére colonne, quoique » plus courte, comprend plus d'eau, » comme l'on sçait, que la premiére ; » cependant la surface du verre qui » touche la plus menue, est plus gran» de que celle qui contient l'autre co» lonne, eu égard à la quantité d'eau.

* Les dissertations de M. Jurin se trouvent à la fin des leçons de Physique expérimentale de M. Côtes, traduites en François par M. le Monnier. A Paris, 1740.

» La force attractive n'est donc pas
» proportionnelle à la surface inté-
» rieure du tuyau ; ou bien, (ce qu'on
» ne peut admettre,) la même cause
» n'auroit point un effet constant.

M. Jurin après avoir fait connoître par cette difficulté, & par des expériences décisives, l'insuffisance de l'explication précédente, lui en substitue une autre. Il prétend que l'attraction du tuyau n'agit que par la partie annulaire de la surface intérieure, où se termine la colonne de liqueur. Il établit son opinion sur des expériences fort ingénieuses, & dont les apparences sont séduisantes.

Il plonge le tube *AB*, *Fig.* 15. formé de deux parties *AC*, *CB*, dont les diamétres sont fort différens. Quoiqu'un tuyau de la grosseur de *CB*, ne pût élever la liqueur qu'au point *E*, si cependant on l'emplit jusqu'en *D*, l'eau y demeure suspendue, pourvu que cette portion du tuyau soit d'un tel diamétre, qu'un tube de sa grosseur dût élever l'eau de la hauteur *B D*.

Et si l'on renverse ce uyau comme *FG*, l'eau ne s'éléve & ne demeure suspendue qu'au point *F*, hauteur à

laquelle elle s'éleveroit par un tube qui feroit, dans toute fa longueur, d'un diamétre égal à la partie *F*.

Il paroît donc par ces expériences, comme l'a remarqué M. Jurin, que fi la hauteur des colonnes d'eau foutenues dépendoit de l'attraction de toute la furface intérieure, la liqueur ne devroit pas fe foutenir plus haut que le point *E* dans la première; & dans la feconde elle excéderoit la hauteur *F*, puifque la plus longue partie du tuyau qui la contient eft, par fuppofition, d'un diamétre propre à la faire monter d'une quantité égale à *B D*. Cette élévation, ou fufpenfion de liqueur, dépend donc plutôt de la partie annulaire du verre où fe termine la colonne; puifque la hauteur de l'eau change avec le diamétre de cet anneau.

Le fçavant & judicieux auteur de ces expériences, agiffant moins par prévention pour le fyftême des attractions qu'il n'abandonne point, que par amour pour la vérité qu'il préfére à tout, ne diffimule rien de ce qui peut infirmer fon opinion; fa premiére expérience peut être faite

de façon qu'elle prouve trop, & qu'elle devient elle-même un nouveau phénoméne qui mérite d'être expliqué.

Au lieu du tube *A B*, *Fig.* 15. il employe un entonnoir qui peut avoir un pouces & plus de largeur, & qui finit en tube capillaire, comme on le peut voir par la *Fig.* 16. Si cet entonnoir ainsi renversé, n'excéde point la hauteur à laquelle pourroit s'élever l'eau dans un tube gros comme la partie *H*, il pourra rester tout plein, comme *D B* de la précédente expérience. Si l'attraction annulaire soutient la colonne *H I*, comment la grande quantité d'eau, qui l'environne, se soutient-elle ?

On n'a pas manqué de répondre que cette masse d'eau étoit soutenue par l'attraction de la partie convexe, c'est-à-dire, que chaque point du verre, *K*, *L*, &c. attiroit la colonne qui lui étoit soumise; mais une nouvelle expérience détruit encore cette réponse.

Quand on donne à l'entonnoir la forme qu'il a dans la *Fig.* 17. qu'on ne le remplit qu'en partie, mais

plus cependant qu'il ne pourroit l'être, si l'eau ne s'y élevoit qu'en vertu de la propriété du tube capillaire; si l'on touche l'orifice supérieur avec le doigt mouillé, de sorte qu'il y entre une goute d'eau, la colonne reste suspendue, comme s'il étoit entiérement plein : ce n'est plus alors la partie convexe du verre qui l'attire.

C'est ainsi que M. Jurin combat les explications où la vertu attractive est infructueusement employée; mais ce principe qu'il ne croit pas devoir encore abandonner, lui fournira-t-il le véritable dénouement ? C'est toujours travailler utilement que de détruire les mauvaises raisons; ce sont des obstacles de moins sur les routes de la vérité. Ne perdons point de vûe, cette matiére, entre les mains d'un Sçavant, qui paroît l'avoir traitée avec plus d'intelligence & de sagacité qu'aucun autre avant lui.

M. Jurin convenant avec raison, qu'on ne peut pas attribuer vraisemblablement la suspension de toute la masse d'eau dans l'entonnoir, à l'adhérence qu'elle a avec la petite

colonne du milieu, qui est immédiatement attirée par la partie capillaire *H*; & voyant par des expériences répétées dans le vuide, que le poids de l'air grossier n'a point de part à ces effets; M. Jurin, dis-je, avec les meilleures intentions du monde pour la vertu attractive, & toute l'habileté d'un Physicien accoutumé depuis long-tems aux expériences, est obligé d'avoir recours à la pression d'un *milieu assez subtil, pour pénétrer le récipient*, & qui agissant plus librement sur la surface du vase, que sur la liqueur du tuyau qui y est plongé, peut être la cause de cette suspension au-dessus du niveau. C'est bien avouer l'insuffisance de l'attraction, pour expliquer les propriétés des tubes capillaires; mais il seroit à souhaiter qu'on s'étendît davantage pour faire connoître comment ce milieu subtil, que l'on admet, comprime plus librement l'eau du vase, que celle qui est contenue dans le tuyau.

M. Clairaut dans un sçavant ouvrage * qu'il vient de donner au pu-

* Théorie de la figure de la Terre, tirée des principes de l'Hydrostatique.

blic,

blic, fait une application fort heureuse des principes qu'il a établis précédemment, aux phénoménes des tuyaux capillaires. Il trouve que M. Jurin n'employe pas, dans l'examen de cette question, assez de principes, pour en tirer une explication complette, & au lieu de s'arrêter comme lui à la seule attraction du petit anneau de verre qui termine la colonne de liqueur, il examine le fait selon les loix générales de l'Hydrostatique, & il calcule ensuite combien l'attraction peut altérer le niveau, lorsque le tube est capillaire. Son résultat se trouve parfaitement d'accord avec l'expérience; mais ce qu'il y a de singulier, c'est que selon la théorie de M. Clairaut, bien loin que l'effet vienne de l'attraction de la partie supérieure du tube, à laquelle il semble qu'on doive l'attribuer selon les expériences de M. Jurin, c'est au contraire la partie inférieure qui agit, celle d'en-haut n'y a nulle part; son attraction étant contrebalancée, par une pareille attraction, dans la partie moyenne du tuyau.

De tout ceci il résulte que ces phé-

noménes, ou ne sont point encore bien expliqués, ou que les explications qu'on en donne, tiennent à des hypothéses qui ne sont pas généralement reçûes. Peut-être cela vient-il de ce qu'on s'est obstiné à ne leur donner qu'une seule & unique cause : combien y a-t-il d'effets naturels qui en ont plusieurs, & qu'on ne peut connoître par toutes les faces, qu'en les examinant sous différens points de vûe ? La pression inégale de quelque fluide est probablement le point fondamental de l'explication ; mais l'adhérence ou la viscosité naturelle des liqueurs, la grandeur & la figure de leurs parties, & peut-être un certain mouvement qui leur est propre, &c. sont autant de moyens que la nature peut employer pour ces sortes d'effets, & autant d'objets que nous devons considérer dans nos recherches.

APPLICATIONS.

Quoique nous ne voyions pas bien clairement quelle est la cause immédiate de l'élévation & de la suspension des liqueurs dans les tuyaux capillaires, ces phénoménes bien conſ-

ratés ne laissent pas d'être intéressans, parce qu'ils paroissent avoir beaucoup de part aux opérations de la nature, & que ce que nous en sçavons, peut nous conduire à beaucoup d'autres découvertes. Souvent un fait qu'on ne peut expliquer qu'imparfaitement, devient lui-même une explication claire & distincte de plusieurs autres. Nous ne sçavons pas bien quelle est la vraie cause de la pésanteur des corps ; cependant par la connoissance que nous avons de ses loix, nous sommes en état de rendre raison d'une infinité de choses, qui sans cela seroient ensevelies dans une profonde obscurité. De même quand je sçais que les liqueurs s'élévent, malgré leur gravité, dans des canaux étroits, de quelque matiére & de quelque figure qu'ils puissent être, je ne suis plus surpris de trouver humides jusqu'en haut, un monceau de sable, une pierre tendre, une buche placée debout, &c. quoique ces corps ne soient qu'en partie plongés dans l'eau. Car, comme ils sont poreux, l'eau y trouve des petits canaux, par lesquels elle monte, com-

me elle feroit dans de petits tuyaux de verre, & encore mieux; parce que dans un canal fort uni & fort droit, la liqueur oppose toute sa pésanteur à la cause qui l'éléve, au lieu que dans les passages tortueux, que lui offre l'intérieur d'un corps solide, elle trouve des repos d'où il peut se faire qu'elle parte à plusieurs reprises, & peut-être avec de nouvelles forces.

Mais ce que nous voyons arriver en petit, ne pourroit-il pas se faire en grand? Le monceau de sable mouillé jusqu'au sommet, n'expliqueroit-il pas l'origine de certaines sources qui ne tarissent jamais, qui fournissent toujours une égale quantité d'eau, & qui ne paroissent redevables ni aux saisons, ni aux vapeurs & autres influences de l'atmosphére, & qui se trouvent dans la proximité de la mer? C'est une pensée assez plausible, & qui a été adoptée par plusieurs auteurs *; cependant elle perd une partie de sa vraisemblance, si l'on fait attention qu'un tube capillaire ne produit jamais d'écoule-

* Plot. *Tentamen philosophicum de origine fontium.* Derham, *Théologie physique.* p. 70.

ment par sa partie supérieure, & que le sable, quoique mouillé beaucoup au-dessus du niveau de l'eau, ne l'est presque qu'intérieurement, ou s'il l'est en-dehors, cela ne fait point source.

La buche qui se mouille jusques dans la partie qui n'est point plongée, peut faire naître quelques idées sur le mystére de la végétation; on sçait que ce qui fait croître les plantes, c'est la séve qui passe dés racines à la tige, & de la tige aux branches; mais quelle est la puissance qui éléve ainsi cette liqueur nourriciére, c'est ce qu'on ignore encore; en attendant qu'on le sçache, ne pourroit-on pas regarder les routes qu'elle tient, comme autant de petits canaux capillaires, ou comme une continuité de corps spongieux, par lesquels elle se porte de bas-en-haut, & plus ou moins abondamment, selon l'état actuel des sujets qui la reçoivent.

Mais ce qu'il y a en cela de plus merveilleux, c'est que chaque sorte de plantes paroît avoir sa séve particuliére; car on sçait que la terre s'épuise à force de nourrir la même es-

péce, & qu'on la soulage, pour ainsi dire, en variant la semence sur le même fond. Comment donc dans un jardin, chaque arbre reçoit-il la nourriture qui lui est propre? Comment le pommier ne prend-il pas ce qui convient à la vigne, le myrte ce qui doit appartenir au jasmin ou au chévrefeuille? . . .

On ne peut répondre maintenant à ces questions que très-imparfaitement, parce que nous sommes encore bien peu instruits de ce qui se passe à cet égard. Mais s'il est vrai que les canaux qui portent la séve, fassent l'office de tuyaux capillaires, il s'offre un exemple de ce genre qui pourroit être regardé comme une imitation grossiére de la nature, quant à l'objet présent. Si l'on met dans un même vase deux liqueurs fort différentes l'une de l'autre, comme de l'huile & du vin, & qu'on y plonge deux bouts de lisiére de drap, dont l'une ait été imbibée de vin & l'autre d'huile, l'une & l'autre agira comme une éponge, mais la premiére n'enlévera que du vin, & la derniére de l'huile seulement. Tous les corps de

ce genre ſont propres à élever les liqueurs ; mais ils ſe chargent de l'une plutôt que de l'autre, ſuivant l'analogie qu'elle a avec eux. Cette analogie conſiſte ſans doute dans la figure, la grandeur, la diſpoſition des parties, &c. chaque eſpéce de plante fait peut-être quelque choſe de ſemblable, & par les mêmes raiſons.

Il eſt vrai, je l'avoue, que l'aſcenſion des liqueurs dans un petit tuyau de verre, à quelques pouces de hauteur, comparée à l'élévation de la ſéve dans un chêne, ou dans un ſapin, laiſſe appercevoir une différence qui effraye, & qui porte à croire que ces deux effets n'ont point une ſeule & unique cauſe. Auſſi n'indiquai-je point cette comparaiſon comme une explication complette ; les canaux de la ſéve ne ſont pas de ſimples tuyaux ; ils ſont organiſés ; & par cette raiſon leur fonction de tubes capillaires peut avoir des effets, auſquels elle ſeroit incapable de s'étendre ſans cela. Une buche, ou un arbre mort ſur pied, ne végéte plus ; ce n'eſt pas que les canaux de la ſéve y manquent, mais l'organiſation eſt détruite.

En examinant, dans la sixiéme leçon, comment les vapeurs & les exhalaisons s'élévent, & se soutiennent dans l'atmosphére, j'ai supposé que cette masse d'air qui couvre la surface de notre globe, est une grande éponge qui reçoit dans ses pores toutes les parties exhalées des matiéres appartenantes à la terre; voici ce qui peut rendre cette opinion probable.

1°. L'air est compressible; c'est un fait qui n'est point douteux. Quelque figure qu'on accorde à ses parties, il faut toujours convenir qu'elles ne sont pas aussi serrées les unes auprès des autres qu'elles pourroient l'être, & qu'il y a de petits intervalles qui se suivent, qui se touchent, & qui doivent former de petits canaux tortueux, plus ou moins capillaires dans un tems que dans un autre, selon la densité actuelle de l'air, & qui peuvent se remplir de toute autre matiére.

2°. Les vapeurs & les exhalaisons, quand elles sont détachées des masses dont elles faisoient partie, sont dans l'état de fluidité; & par cette raison elles sont susceptibles, comme

les liqueurs, de tous les effets qui ſont propres aux tuyaux capillaires.

3°. Comme les liqueurs s'élévent plus ou moins haut, ſelon l'état actuel des tubes capillaires, c'eſt-à-dire, ſelon la grandeur de leur diamétre, & l'analogie de leur propre matiére avec celles qu'ils élévent; on peut auſſi regarder comme une choſe indubitable, que les vapeurs montent plus ou moins, ſelon la diſpoſition de l'atmoſphére.

Il ſe préſente ici une difficulté conſidérable. On ſçait, par la troiſiéme expérience, *Fig.* 14. que la liqueur s'éléve d'autant plus dans le tube capillaire, que ce tube eſt plus étroit. Les pores de l'air ſont plus ſerrés en hyver qu'en été; il s'enſuivroit donc, ſelon mon hypothéſe, que les vapeurs doivent s'élever plus haut en hyver qu'en été, ce qui n'eſt pas vraiſemblable.

Pour plus haut, je ne le crois pas non plus: mais je paſſerois volontiers qu'elles s'élévent à-peu-près à la même hauteur en toutes ſaiſons; car quelles preuves avons-nous du contraire? & le barométre étant or-

dinairement un peu plus haut l'hyver que l'été; il faut bien que quelque chose entretienne, & même augmente le poids de l'atmosphére; la densité de l'air augmentée dans les saisons froides, compenseroit-elle seule la diminution des vapeurs? Quand on voudroit le conclure, on ne le pourroit pas, en faisant attention que les évaporations sont fort abondantes, même pendant la gelée; si ce qui s'évapore alors est logé à l'étroit dans l'air, il doit donc chercher place plus haut. D'ailleurs c'est une supposition assez généralement reçûe, que la température de l'atmosphére ne varie pas, à beaucoup près, autant dans la moyenne région où s'élévent les vapeurs, qu'ici-bas à la surface de la terre; la porosité de l'air y est donc à-peu-près la même en tout tems. Or l'expérience de M. Jurin, *Fig.* 15. nous apprend que l'élévation des liqueurs dans les tubes ne dépend pas de la largeur qu'ils ont dans leur longueur, mais de celle où se termine la colonne; ainsi quelques changemens qui arrivent ici-bas à la densité de l'air, si la moyen-

ne région ne change pas beaucoup, comme on peut le ſuppoſer avec tous les Phyſiciens, la conſéquence qui ſuit de mon hypothéſe, n'eſt point une objection qui doive la faire rejetter.

4°. Comme un tube capillaire qui ſoutient une colonne de liqueur, ou comme une éponge pleine d'eau n'en puiſe point davantage, de même auſſi l'air trop chargé n'enléve plus de vapeurs; les eaux, & en général tous les corps s'évaporent beaucoup moins par un tems humide & calme, que lorſqu'il fait un vent ſec. Dans le premier cas, l'air eſt une éponge chargée; dans le ſecond, c'eſt une éponge vuide, & qui ſe renouvelle continuellement ſur les mêmes ſurfaces.

5°. Tous les Phyſiciens conviennent que ce qui fait tomber les vapeurs en forme de pluie, c'eſt quelque degré de froid qui condenſe la partie de l'atmoſphére où elles regnent, & qui rapprochant les particules d'eau, les unit en goutes trop péſantes, pour être ſoutenues par un pareil volume d'air; cette explication

qui est très-naturelle, ne détruit point du tout l'idée que je me fais de l'atmosphére : l'air qui se condense est une éponge que l'on presse ; & j'attribue cette compression, non-seulement au refroidissement, qui peut être la cause la plus ordinaire, mais aussi aux vents qui resserrent les nuages, c'est-à-dire, la partie de l'air la plus chargée d'eau ; & en effet la pluie, (sur-tout celle d'orage) tombe souvent par secousses, tout-à-fait semblables à l'expression d'un corps spongieux rempli d'eau.

6°. Il y a certaines pluies qui viennent tout-à-coup, par un tems calme & chaud, de maniére qu'on a peine à les concilier avec les causes dont nous venons de parler ; il me paroît qu'elles s'expliquent assez bien dans mon hypothése. Quand un tube capillaire a élevé l'eau à deux pouces, en vertu d'un diamétre qui n'a qu'un quart de ligne, s'il devenoit plus large de moitié, par exemple, on conçoit bien que l'eau n'y demeureroit pas à la même hauteur ; une éponge qui contient des particules d'eau les laisseroit échapper, si par quelque

moyen que ce pût être, on la dilatoit au-delà de son état naturel. Qu'un rayon de soleil direct, ou réfléchi, vienne à échauffer, & par conséquent à raréfier, une partie de l'atmosphére chargée de vapeurs en suffisante quantité, ces petites masses abandonnées à leur propre poids, commenceront à tomber, & s'uniront en forme de pluie pendant leur chûte. Cette explication paroît même confirmée par l'expérience; car lorsqu'on commence à raréfier, avec une machine pneumatique, l'air qui est contenu dans le récipient, on ne manque pas d'y appercevoir une vapeur, qui tombe comme une pluie fine sur la platine. *

En attribuant à l'atmosphére les propriétés des tubes capillaires, il semble qu'on s'interdise, touchant ces phénoménes, toute explication fondée sur la pression d'un fluide environnant, ce qui paroît être pourtant la principale source des lumiéres que nous avons à attendre sur cette matiére encore obscure : car si la masse de l'air agit comme les tuyaux capillaires, on ne peut plus songer à

* *Mém. de l'Acad. des Scienc. 1740. p. 243.*

faire valoir sa pression, pour rendre raison de cet effet.

Cette considération doit rendre circonspect, mais elle ne doit jamais empêcher de recevoir une vérité qui seroit bien prouvée : en second lieu, les expériences faites & répétées dans le vuide par un grand nombre de Physiciens, leur ont fait avouer d'un commun accord, que l'air grossier, dont il s'agit ici, ne contribue en rien aux phénoménes en question : & en abandonnant le poids de ce fluide dans la question présente, nous ne rejettons nullement un autre milieu plus subtil assez généralement avoué, & qui peut avoir ses fonctions à part.

II. ARTICLE.

Sur les causes de la fluidité & de la dureté des Corps.

En définissant les fluides dans la leçon précédente, je les ai représentés, comme des amas de petits corps solides, assez mobiles les uns à l'égard des autres, pour se séparer au moindre choc. Beaucoup de Physi-

ciens prétendent que ce n'eſt point aſſez d'attribuer une grande mobilité aux parties des fluides & des liqueurs; on veut, par des raiſons aſſez plauſibles, qu'elles ſoient non-ſeulement très-diſpoſées à ſe mouvoir, mais qu'elles ſe meuvent en effet. Les uns cependant plus retenus que les autres ſur ce prétendu mouvement, n'en admettent qu'autant qu'il en faut pour expliquer certains phénoménes, dont ils croyent qu'on auroit peine à rendre compte ſans cette ſuppoſition : ils donnent à ce mouvement inteſtin des liqueurs toutes ſortes de directions imaginables, & en même-tems ſi peu d'étendue, qu'il ne va point juſqu'à déplacer ſenſiblement les parties. Ce ſont les bornes où ſe contiennent la plûpart de ceux à qui les obſervations & les expériences ſont plus familiéres que les ſyſtêmes. Alors cette eſpéce d'agitation actuelle des fluides ne différe guéres de celle que la chaleur naturelle entretient dans les ſolides; & ſi ce mouvement eſt la cauſe immédiate de certains effets qui ſont propres aux liqueurs, je ſuis bien tenté de croire que ce n'eſt qu'en

conséquence de la grande mobilité des parties qu'il anime. Je m'explique par un exemple. Une motte de terre se dissout plus aisément dans de l'eau, (fût-elle prête à geler,) que dans la neige, qui n'auroit de froid qu'autant qu'il lui en faut pour ne pas fondre. Est-ce un excès de mouvement dans les parties de l'eau comme liquide, qui fait cette différence? n'est-ce pas plutôt trop peu de mobilité dans celles de la neige? Tant que l'eau est liqueur, le degré de chaleur qu'elle a, appartient à des parties libres, & qui par cette espéce d'indépendance réciproque, suivent leurs déterminations particuliéres, & pénétrent les pores du corps dissoluble: ce n'est point la même chose dans la neige, dont les molécules sont liées sous la forme de petits glaçons; elles sont déterminées, comme celles de l'eau, vers les pores qui leur sont ouverts; mais pour y entrer il faudroit qu'elles se partageassent en volumes proportionnés aux ouvertures, & si le mouvement qu'on leur suppose, ne va pas jusqu'à causer & entretenir leur division, il ne doit pas avoir le même

me effet que dans l'eau ; mais toute la différence, comme l'on voit, ne vient que d'un défaut de mobilité suffisante dans les parties.

Je croirois donc volontiers, que les liqueurs n'ont point en elles-mêmes un mouvement particulier qui les rende telles ; mais qu'elles sont dans cet état seulement, parce que leurs parties sont extrêmement mobiles entr'elles. L'objet de cet article est donc de faire connoître, autant que nous le pourrons, ce qui peut entretenir cette mobilité respective ; & comme être dur est l'état opposé à celui de liqueur, les causes de l'un doivent nous indiquer celles de l'autre. Voyons d'abord pourquoi certains corps sont durs, par quelles raisons d'autres le sont moins, & enfin comment il se peut faire qu'ils ne le soient pas sensiblement. Par cette division, nous embrassons tous les différens degrés de consistance qui conviennent à la matière, *dureté*, *mollesse*, *fluidité*, *liquidité*.

Il ne s'agit point ici d'une dureté parfaite, telle qu'elle conviendroit, par exemple, aux parties insécables

& élémentaires, aux atômes. Ce qui fait présentement l'objet de nos recherches, c'est cette cohérence qui constitue une masse solide qui s'oppose à sa division, mais qui peut toujours céder à une force finie; telle est celle du bois, des pierres, des métaux, &c.

Si les corps n'étoient durs qu'à l'extérieur; si les piéces qui composent leur solidité, étoient assez grandes pour nous laisser appercevoir leurs figures, & le rapport qu'elles ont entr'elles; si rien de tout ce qui est matériel ne pouvoit échapper à nos sens, nous pourrions peut-être nous flatter de donner une explication directe des phénoménes en question. Mais les corps sont solides intérieurement comme à l'extérieur, & leurs molécules les plus subtiles ne le sont pas moins que la masse totale; ainsi la cause de cette cohérence agit sur des sujets qui échappent à nos yeux, & dans des endroits où nous ne pouvons la suivre. Ce n'est donc que par analogie & par conjecture que nous en pouvons juger: cette voie n'est pas la plus sûre pour

arriver au vrai : mais on peut se la permettre lorsqu'on n'en a pas de meilleure ; & quand on en use avec retenue, elle peut conduire à des découvertes.

PROPOSITION.

Plusieurs corps peuvent s'attacher ensemble par la pression d'un fluide qui les couvre, ou qui les environne de toutes parts.

PREMIERE EXPERIENCE.

PREPARATION.

La piéce *A*, *Fig.* 18. est un morceau de liége cylindrique, dont la base est garnie d'une virole, & d'une platine de cuivre mince & bien droite, de maniére que le tout ensemble pése moins que de l'eau. *B* est une piéce semblable pour la forme, mais qui est entiérement de métal. On enduit les deux plans d'une légére couche d'huile d'olives ; & après les avoir appliqués exactement l'un sur l'autre, on les place comme *a*, *b*, au fond d'un grand vase que l'on remplit d'eau.

EFFETS.

Quoique la piéce *a* ſoit plus légére qu'un pareil volume d'eau ; & que cette légéreté reſpective la ſollicite à ſe ſéparer de la piéce *b*, qui eſt retenue par l'excès de ſon poids au fond du vaiſſeau, cependant elle y demeure conſtamment attachée.

EXPLICATIONS.

Cet effet vient de ce que la colonne d'eau qui repoſe perpendiculairement deſſus, n'eſt point contrebalancée par aucune autre qui agiſſe deſſous, à cauſe de l'union étroite des deux ſurfaces. Ce qui prouve que cette raiſon eſt la véritable, c'eſt que ſi l'on enduit d'eau ces deux piéces, au lieu d'huile, pour les joindre, lorſqu'on les remet en expérience, la maſſe d'eau dont on les couvre, ne manque pas de les déſunir, parce qu'elle s'introduit entre les deux, n'y trouvant plus qu'une matiére ſemblable qui ne lui fait point obſtacle, comme une liqueur graſſe.

II. EXPERIENCE.

PREPARATION.

C, *D*, *Fig.* 19. ſont deux boëtes de cuivre dans leſquelles on a maſtiqué deux plaques de marbre bien dreſſées, ou deux glaces de miroir bien épaiſſes. Sur la virole de la boëte *C*, on a pratiqué quatre petits canons à égales diſtances l'un de l'autre, pour recevoir autant de petites broches de bois, que l'on fait excéder le plan de marbre, quand il en eſt beſoin.

EFFETS.

1°. Lorſqu'on a mouillé les deux marbres, & qu'on les a appliqués l'un contre l'autre, en les frottant un peu, pour rendre l'application plus exacte, & pour en chaſſer toutes les particules d'air qui pourroient y être, ces deux plaques ſe ſéparent facilement ſi l'effort ſe fait parallélement à leurs plans.

2°. Mais ſi lorſqu'ils ſont joints l'on enfonce les petites broches de bois pour empêcher qu'ils ne gliſſent, ou qu'on les tire perpendiculairement à

leurs faces, il faut employer une force très-considérable pour les séparer.

EXPLICATION.

Cette expérience qui est fort ancienne, étoit autrefois une des preuves sur lesquelles on appuyoit l'horreur du vuide; mais depuis qu'on a reconnu l'abus de ces mots qui ne signifioient rien, on l'a expliqué méchaniquement, par la pression de l'air qui environne les deux plans appliqués. On sçait que les fluides pésent en tout sens; cette pésanteur est une force qui doit avoir son effet, si quelque action ou puissance contraire ne la tient en équilibre; ces deux plans unis ensemble, & soumis au poids de l'atmosphére, ne doivent se porter ni d'un côté ni d'un autre, parce qu'ils sont également pressés de toutes parts. Mais chacun d'eux est poussé contre son pareil, & doit y rester attaché, parce qu'il n'y a point entre les deux plans de réaction qui s'oppose au poids de l'air extérieur. C'est par une semblable raison, que les enfans enlévent des

pierres avec une rondelle de cuir mouillé qu'ils appliquent & qu'ils tirent avec une corde. Un parapluye étendu & renversé contre un terrain uni, fait encore une résistance très-sensible quand on le tire brusquement; & l'on court risque de rompre une glace qu'on enléve perpendiculairement au plan sur lequel elle repose, s'il est fort uni.

Il n'y auroit rien à objecter à cette explication, si nos deux marbres, après avoir été joints dans l'air, se séparoient d'eux-mêmes dans le vuide, comme on le dit communément; mais il faut avouer que quand on procéde avec exactitude, & qu'on évite tous les mouvemens étrangers qui peuvent aider la séparation, il arrive très-souvent que l'union subsiste encore, après qu'on a raréfié l'air, autant qu'il est possible de le faire, avec la machine pneumatique la plus exacte. L'adhérence des deux marbres ne fait que diminuer pour l'ordinaire, elle ne cesse pas entiérement, & le dégré de force qui lui reste, & que j'ai tâché de mesurer par des poids, m'a parû dépen-

dre beaucoup de la nature des plans ; de leurs dimensions, & des matiéres interposées pour les unir. Voyez la *Figure* 20.

Cet effet mérite d'autant plus d'attention, qu'il a lieu non-seulement pour les corps solides, mais aussi pour les liqueurs. M. Hughens * remarqua le premier, que l'eau demeuroit dans le vuide beaucoup plus haut que son niveau, & que ce qu'il s'en falloit ne pouvoit être attribué à la petite quantité d'air qu'une bonne pompe laisse nécessairement dans le récipient. Boyle après lui, reconnut la même chose, & poussa l'expérience jusqu'à soutenir 75 pouces de mercure dans le tube de Toricelli, c'est-à-dire, 47 pouces de plus que le poids de l'atmosphére ne peut soutenir. Une circonstance qu'il est essentiel de remarquer, c'est que les liqueurs ne demeurent ainsi suspendues, que quand elles touchent immédiatement le haut du vaisseau dans lequel elles sont ; car le moindre petit vuide, ou la plus petite bulle d'air qui s'y rencontre ne manque jamais d'empêcher ou de faire cesser

* *Recueil de l'Acad. des Scien. tom.* 10. *p.* 529.

cet

cet effet ; de forte qu'il ne faut point s'attendre de voir une colonne de mercure de 75 pouces, élevée au-dessus de son niveau dans un tube plus long que cette mesure.

M. Hughens cherchant une explication à ces sortes de phénoménes, je veux dire l'adhérence des deux marbres, & la suspension des liqueurs dans le vuide, suppose qu'outre l'air grossier qui environne tous les corps, & qui agit par son poids sur leurs surfaces, il y en a encore un autre plus subtil qui passe où le premier ne peut pénétrer, & à qui les pores mêmes du verre fournissent des passages assez libres, & que c'est à la pression de ce milieu qu'il faut attribuer une infinité d'effets que nous avons continuellement sous les yeux, & qu'il est impossible d'expliquer par l'action de cet air plus connu, dont l'absence ou l'extrême raréfaction se nomme improprement le *vuide*.

Quant à l'existence d'un tel fluide, il y a bien peu de Physiciens qui ne l'admettent ; & dans le petit nombre de ceux qui s'obstinent à la nier, on doit être surpris quand il s'en ren-

contre quelques-uns, à qui l'on ne peut contester le génie d'observation & l'habitude des expériences. Car alors on ne peut pas supposer qu'ils ignorent les faits qu'on peut citer en faveur de cette opinion. Celui de tous les Philosophes modernes aux opinions duquel il semble que le vuide convînt le mieux, M. Newton * n'a point refusé de reconnoître *un milieu beaucoup plus subtil que l'air, lequel milieu*, dit-il, *reste dans le vuide après qu'on en a pompé l'air.* On voit par l'usage qu'il en fait, par l'étendue qu'il lui donne, par les fonctions qu'il lui attribue, combien il croyoit que cette matiére pouvoit avoir de part dans les opérations les plus secretes de la nature. M. Jurin, plus exactement Newtonien que la plûpart des partisans de la vertu attractive, ne fait nulle difficulté, comme nous l'avons vû ci-dessus, d'adopter cet air subtil, lorsqu'il trouve l'attraction en défaut; & pour s'épargner la peine d'en prouver l'existence, il s'appuye sur les citations que je viens de rapporter.

* *Traité de l'Opt. liv. 3. quest. 18. & suiv.*

Si ce milieu résistant est reconnu

par ceux-mêmes à qui il convenoit le mieux de combattre le systême du plein, il seroit superflu de s'arrêter à prouver combien il est digne d'être reçû par tout Physicien qui n'admet que des causes méchaniques; il suffira de dire que depuis Descartes, la régle la plus généralement observée, a été de chercher à expliquer par le choc ou l'impulsion des fluides invisibles, tout ce qui ne peut l'être par l'action de l'air sensible, ou des autres corps dont nous pouvons voir les opérations.

Ce qui révolte ordinairement ceux qui prennent un autre parti, c'est la fécondité des effets, & le grand nombre de propriétés qu'on suppose dans le détail des phénoménes, à une matiére dont l'existence sent encore l'hypothése.

Il est vrai que quelques Philosophes ont donné carriére à leur imagination, pour expliquer les diverses fonctions de ces fluides subtils; mais quand Descartes se seroit trompé sur le nombre, & qu'il y en auroit plus ou moins que trois sortes; quand les mouvemens particu-

liers de leurs parties seroient toute autre chose que les petits tourbillons imaginés par le P. Malbranche, & soutenus par M. l'Abbé de Molieres *; en un mot, quand on pourroit regarder comme des systêmes hazardés, tout ce qu'on a dit touchant la maniére d'être & d'agir de cette matiére qui peut être par tout où les autres fluides plus grossiers n'ont plus d'accès, s'ensuivroit-il que son existence fût aussi douteuse? On est parfaitement d'accord à présent qu'il y a une matiére qui nous éclaire, & qui nous fait voir les objets. Seroit-on en droit de la contester, parce qu'il y a différentes opinions sur la nature de ses parties, & sur sa propagation?

* Leç. de Phys. expliq. au Coll. Royal.

Au reste retenons notre imagination, comme il convient, dans un ouvrage où nous nous sommes proposés de n'instruire que par des faits; en admettant l'air subtil avec presque tous les Physiciens, ne lui attribuons que ce que les phénoménes paroîtront indiquer d'une maniére distincte; & ne supposons que ce que l'analogie la plus simple & la plus conséquente pourra nous permettre.

L'air ſubtil ſe fait ſentir dans le vuide de Boyle ; il paſſe donc à travers les pores du verre ; on peut préſumer qu'il pénétre de même tous les corps ſolides.

Mais cette premiére propriété ne le rend-elle pas incapable des effets qu'on lui attribue ? Peut-il contenir un marbre contre un autre, s'il paſſe librement à travers des deux corps ? Peut-il ſoutenir de l'eau ou du mercure, s'il pénétre le haut du vaſe ou du tuyau qui contient l'un ou l'autre de ces deux liquides ?

Cette objection eſt grande, ſans doute ; mais on y répond, & d'une maniére ſatisfaiſante, en diſant que l'air ſubtil appliqué à la ſurface d'un corps, n'eſt admis qu'en partie dans les vuides qu'il y trouve, & qu'il agit du reſte ſur les parties ſolides qui s'oppoſent à ſon paſſage, & qui deviennent autant de points d'appui. Tout ce qui peut en arriver, c'eſt que les corps les plus poreux échappent davantage à ſon action, & qu'il en réſulte une moindre adhéſion, ce qui eſt aſſez conforme à l'expérience. Car de deux plaques de métal que

j'avois préparées pour être jointes ensemble, comme les deux marbres de l'expérience précédente, j'en ai percé une de plusieurs trous & à plusieurs fois, & j'ai remarqué que l'adhésion diminuoit, à mesure que j'interrompois davantage la continuité de la surface.

Si l'on demande maintenant comment l'air subtil soutient dans le vuide une liqueur au-dessus de son niveau, nonobstant la porosité du verre qui lui permet de passer par le haut du tube : je répondrai que l'action de ce fluide est parfaitement libre sur la surface du vase *A B*, mais qu'elle est interrompue en-haut, par les parties solides du verre, ce qui donne de l'avantage à la pression d'en-bas.

Il est vrai que les colonnes intermédiaires *e*, *f*, qui répondent à chacun des pores du verre, sont soumises à l'action du fluide, & qu'étant ainsi entre deux pressions à peu près égales, leur propre poids les sollicite à tomber. Mais elles sont retenues par le frottement & l'adhérence des colonnes qui les entourent & qui les pressent, comme elles le sont

elles-mêmes par l'air ſubtil ; car cet air, en vertu de ſa fluidité, péſe en toutes ſortes de directions, & le tuyau eſt poreux dans toute ſa longueur, comme il l'eſt en la partie convexe de ſon extrémité.

APPLICATIONS.

Les explications que nous venons de donner de l'adhérence des deux marbres, & de la ſuſpenſion des liqueurs au-deſſus de leur niveau dans le vuide de Boyle, nous indiquent d'une maniére aſſez vraiſemblable les cauſes immédiates de la dureté & de la fluidité des corps. S'il y a un air ſubtil qui les pénétre, & qui porte ſon action au-dedans comme au-dehors ; ſi cette action a priſe ſur des parties ſolides auſſi minces, auſſi peu étendues que le ſont celles des liqueurs, n'a-t-on pas tout lieu de croire que ce même fluide retient l'une contre l'autre les piéces aſſemblées ſous le même volume, & que l'adhérence qui réſulte de ſa preſſion, devient plus ou moins forte, ſelon la figure des parties qui ſe touchent, la grandeur des ſurfaces, le plus ou le

moins d'exactitude du contact, &c.

On doit concevoir que s'il y avoit une matiére dont les parties les plus simples fussent taillées de maniére à se joindre immédiatement, sans laisser entr'elles aucun intervalle, toute la pression de l'air subtil agiroit en dehors de cet assemblage; il faudroit pour le désunir employer une force supérieure au poids de ce fluide environnant; & qui sçait quelle devroit être cette force?

Mais un tel assemblage est un être de raison: tous les corps sont poreux; il n'y a que du plus ou du moins: les piéces qui les composent ne sont jointes qu'en partie, & les vuides qui restent entr'elles sont remplis, sans doute, de ces fluides dans lesquels les corps ont été formés: car pourquoi seroient-ils absolument vuides? Les concrétions qui se font dans l'eau, ne sont-elles pas toujours humides intérieurement? Et ne voyons-nous pas sortir de toutes sortes de matiéres une très-grande quantité d'air, lorsqu'on fait cesser les causes qui l'y retiennent? Il y a donc de l'air subtil dans tous les corps, &

il y en a d'autant plus, que leur porosité est mieux proportionnée à la subtilité de ce fluide; car il pourroit se faire qu'un corps plus compacte contînt autant ou plus d'air subtil qu'un autre corps plus poreux, si celui-ci admettoit avec ce fluide, quelque chose de plus grossier, comme l'air ou l'humidité de l'atmosphére.

Plus il y a d'air subtil dans l'intérieur d'un corps, moins ce corps est dur; parce qu'alors les parties solides qui le composent, se touchent par moins de surface, & que la pression du dehors est plus soutenue par celle que le fluide transmet au-dedans. Quand la cire, par exemple, s'amolit sensiblement, c'est que l'air subtil dont elle est pénétrée, dilaté par la chaleur, dilate de même les espaces qu'il occupe; & comme ces espaces ne peuvent s'augmenter que par l'écartement des parties solides qui les entourent; le contact de celles-ci devient plus rare, leur jonction moins exacte, leur cohérence moins forte.

La dilatation des pores non-seule-

ment fait augmenter la pression que l'air subtil transmet au-dedans des corps, en lui fournissant une base plus large, mais elle fait naître des communications d'interstices à interstices; tel pore isolé entre des parties solides, s'ouvre & laisse un accès libre au fluide qui les sépare; de-là il arrive des divisions & des subdivisions, qui font paroître la masse totale, sous différens dégrés de mollesse, jusqu'à ce qu'enfin les parties divisées, autant qu'elles peuvent l'être par l'état actuel du fluide, & ne se touchant presque plus, sont disposées à se mouvoir indépendamment les unes des autres, ce que l'on appelle *être liquide*.

Mais comme tous les corps ne sont point également poreux, que leurs parties n'ont point la même figure, & qu'elles se touchent & s'arrangent d'une infinité de maniéres différentes, aussi le degré de dureté n'est pas le même dans tous, & ne se perd pas avec la même facilité. La chaleur qui regne ordinairement dans nos climats, suffit pour faire couler l'eau; il en faut davantage pour rendre la

eire liquide, & beaucoup plus encore pour mettre les métaux en fusion.

Quand les corps sont parvenus à l'état de liquidité, leurs molécules ou parties intégrantes conservent leur dureté naturelle, parce qu'elles sont comprimées de toutes parts, & qu'elles n'ont rien au-dedans d'elles-mêmes qui s'oppose à cette pression du fluide environnant.

Je ne prétens point pour cela qu'elles soient indivisibles, ni même inflexibles absolument. Les élémens qui les composent, comme les deux marbres polis, peuvent peut-être glisser parallélement à leurs plans, changer de figure, & même se séparer.

Mais ce que je dis ici pour les parties, ne devient-il pas une objection contre la dureté totale du volume; si plusieurs lames glissent aisément, & se séparent de même, quand on les tire parallélement à leurs plans, ne semble-t-il pas que la pression de l'air subtil ne devroit rendre les corps durs que dans un sens, & relativement à une force employée seulement dans une direction perpendiculaire au plan de contact?

Cette objection auroit toute sa force, s'il s'agissoit d'un corps qui n'eût que deux ou trois parties solides, couchées parallélement les unes sur les autres; mais cette supposition n'a pas lieu, même dans les plus petits volumes de matiére. Combien de piéces au contraire n'attribue-t-on pas à ces petites portions de matiére, que l'art, & la nature même ne divise plus ? & que de positions différentes ne peut-on pas croire qu'elles affectent ? Prenons pour exemple cet assemblage grossier qui est représenté par la *Fig.* 22. Il est vrai que la piéce *a* glisseroit avec facilité dans la direction *a d*, si elle ne tenoit qu'aux deux autres piéces *b*, *c*; mais ce mouvement est perpendiculaire aux surfaces d'*f* & d'*e*, & pour l'en séparer, il faut vaincre la pression qui la retient. La piéce *g* pourroit de même se mouvoir facilement vers *a*, si son adhérence en *b* ne s'y opposoit. On peut juger par-là de ce qui arrive dans la composition naturelle des corps, où le grand nombre des parties, & les différens ordres qu'elles prennent, font naître la dureté en toutes sortes de directions.

De cette réponſe même il naît une autre difficulté qu'il faut prévenir. Si les corps, dira-t-on, ne ſont durs de tous côtés, que parce qu'ils ſont compoſés d'un grand nombre de parties différemment arrangées, il devroit s'enſuivre que la dureté en tous ſens diminue, à meſure qu'on diviſe les corps, & que les plus petites maſſes ſont plus faciles à diviſer que les plus grandes; ce qui eſt bien contraire aux idées que l'on a de la diviſibilité des corps, qui paroît être d'autant plus difficile, qu'elle eſt portée plus loin.

1°. Il ne s'agit point ici du plus grand nombre, il ne faut qu'un nombre ſuffiſant de parties, & arrangées de façon qu'il y ait toujours quelqu'une de leurs ſurfaces appliquées perpendiculairement à la direction d'une force extérieure, employée pour les déſunir; & l'on ne peut citer aucune diviſion pratiquée, ou praticable, qui nous interdiſe cette ſuppoſition, l'idée que l'on a, & que l'on doit avoir en Phyſique, du nombre prodigieux de parties contenues ſous le plus petit volume de matiére, qui

puisse être soumis à nos épreuves, doit nous mettre à couvert de tout reproche à cet égard.

2°. Quand il seroit vrai que les corps infiniment petits fussent composés de parties plus disposées à la division, soit parce qu'elles présentent moins de surface à la pression extérieure qui les contient, soit parce qu'un arrangement plus simple leur permet de glisser l'une sur l'autre ; comment le sçaurions-nous ? Nous jugeons de la dureté des corps par la difficulté que nous éprouvons à les diviser : à mesure que les moyens nous manquent pour opérer cette division, fût-elle plus facile en elle-même, c'est-à-dire, de la part du corps divisible, nous en jugeons autrement, & ce corps nous paroît d'autant *plus* dur, que nos efforts ont moins de prise sur lui. Lorsque nous séparons deux marbres adhérens, en les faisant glisser l'un sur l'autre, la facilité avec laquelle se fait cette séparation, vient-elle de ce que ces deux corps, proportion gardée, ont moins d'adhérence ensemble, que d'autres corps très-petits & appliqués de même ?

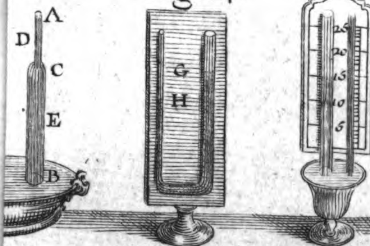
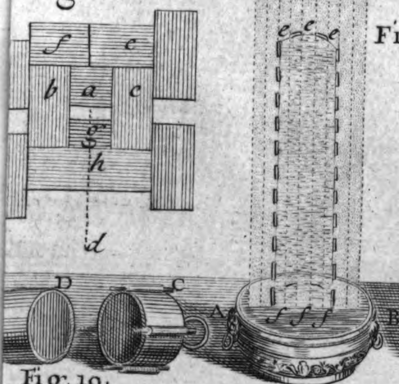

5.
Fig. 14.
A
D
C
E
B
G
H
25
20
15
10
5
Fig. 15


Fig. 18.
Fig. 17.
A
B
b


Fig. 22.
Fig. 21
f
e
b
a
c
g
h
d
e e e
D
C
A
B
f f f
Fig. 19.

Ne vient-elle pas plutôt de ce que nous pouvons facilement y appliquer des forces qui les tirent en sens contraires ? Ainsi la dureté des corps, que nous regardons comme actuellement indivisibles, pourroit bien n'être qu'égale, & peut-être inférieure à celle d'une plus grande masse de la même matiére, quoiqu'à notre égard elle soit excessive, parce que nous ne connoissons aucun agent qui puisse les entamer.

Les deux états opposés, je veux dire la solidité & la fluidité, dépendent donc de la même cause; c'est l'air subtil qui fixe les parties d'une matiére, lorsque sa pression extérieure excéde la réaction qu'il fait en-dedans; & c'est ce même fluide qui rend & entretient les parties mobiles, en s'introduisant entr'elles en suffisante quantité. C'est pour cela sans doute que toutes les matiéres, qui passent d'un état à l'autre, changent de grandeur; car puisqu'un corps solide devient fluide, par l'introduction d'une matiére étrangére qui le pénétre en plus grande quantité, & qu'il ne revient à sa premiére consistance, que

quand cette matiére cesse de le dilater ; il est bien naturel qu'il occupe plus de place étant liquide, que lorsqu'il est solide. C'est aussi ce qui arrive ordinairement, & j'en ferai connoître des exemples très-curieux en traitant du Feu. C'est-là la régle générale, elle a pourtant quelques exceptions remarquables, dont je parlerai ailleurs.

Des matiéres qui tiennent leur liquidité de l'air subtil, la communiquent par elles-mêmes à des corps solides. L'eau, par exemple, amollit la terre, & la convertit en boue : elle désunit les parties du sel, du sucre, &c. L'esprit de vin & les huiles dissolvent les gommes & les bitumes; le mercure s'amalgame avec le plomb, l'étain, l'or & l'argent : mais comme la fluidité n'est qu'une maniére d'être, aussi-tôt que la cause cesse, que le dissolvant s'évapore, ce qu'il avoit rendu fluide revient ordinairement à sa premiére consistance.

Tous ces effets sont autant de moyens que les arts ont sçû tourner à leur profit ; je n'en veux citer que deux exemples.

La

La dorure qu'on nomme *d'or moulu*, eſt certainement la plus belle & la plus durable de toutes celles qui ſont en uſage. C'eſt de l'or extrémement diviſé, dont les parties ſont comme enchaſſées dans les pores même du métal, ſur lequel on l'a appliqué ; & voici comment cela s'exécute. On met une certaine quantité d'or fin dans du mercure ; ces deux métaux s'uniſſent de maniére que l'un communiquant une partie de ſa fluidité à l'autre, ce mélange devient comme une pâte qu'on nomme *amalgame* : on applique & l'on étend cette préparation ſur la piéce qu'on veut dorer, & enſuite par l'action du feu on fait évaporer le mercure, l'or qui eſt fixe demeure ; & les pores du métal doré, qui ſe ſont dilatés par la chaleur, & qui ſe reſſerrent en ſe refroidiſſant, retiennent, comme autant de petits chatons, les parcelles d'or qui s'y ſont placées.

La gomme lacque, le ſandarac, le maſtic en larmes, &c. ſe diſſolvent, & s'étendent dans l'eſprit de vin ; le karabé ou ſuccin, & la gomme copal, s'amolliſſent & ſe fondent dans l'hui-

le de lin, & s'étendent ensuite dans l'huile grasse & l'esprit de térébenthine. Toutes ces dissolutions qu'on nomme *vernis*, s'appliquent sur le bois, ou ailleurs; & lorsque le dissolvant est évaporé, les gommes qu'il avoit rendues liquides, reprennent leur dureté & leur brillant.

On voit donc par ces exemples, que la liquidité ne change rien par elle-même à la nature des corps. Si leur cohérence est telle, qu'elle ne puisse céder qu'à une action violente de la part du dissolvant, il peut se faire qu'il leur enléve quelque partie de leur substance; mais c'est un accident, & non pas une suite nécessaire de la liquidité en général.

Il y a des cas où l'on voit cesser ou diminuer la liquidité, sans que la cause qui l'avoit fait naître, paroisse cesser d'agir. Deux liqueurs mêlées ensemble, prennent tout d'un coup une consistance plus ou moins grande, quoiqu'on n'y remarque aucun degré de refroidissement sensible; cet effet, qu'on appelle communément *coagulum*, peut s'expliquer, en supposant que les parties sont de telles figu-

res, qu'elles s'embarrassent réciproquement, & qu'elles font cesser entr'elles cette mobilité en quoi consiste principalement l'état de liqueur. Le plus beau *coagulum* que je connoisse, c'est celui qui se fait avec l'huile de chaux & l'huile de tartre par défaillance; quand on remue un peu ce mélange avec une petite spatule, il se convertit en une masse blanche, à qui l'on fait prendre la forme que l'on veut, & qui se durcit comme de la cire. On coagule aussi un esprit volatil urineux fort subtil, avec de l'esprit de vin bien rectifié; le blanc d'œuf, avec l'esprit de sel; le sang, avec de l'eau de vie. Cette derniére expérience apprend de quelle importance il est d'user sobrement des liqueurs spiritueuses, puisqu'elles sont capables d'altérer la fluidité du sang.

Quelque vraisemblable que puisse paroître l'explication de la dureté & de la fluidité des corps, établie sur l'action d'un fluide presque généralement reconnu, quoique sous différens noms; je ne dois pas dissimuler cependant que plusieurs Physiciens refusent de l'admettre, & lui en

substituent une autre. « L'attraction » réciproque des particules de ma- » tiére, disent-ils, est très-grande, » lorsqu'elles se touchent ; mais hors » du point de contact elle décroît tel- » lement, qu'à la plus petite distance » sensible, elle se convertit en for- » ce répulsive. * Les corps sont soli- » des, tant que la vertu attractive » de leurs parties est plus forte que » la vertu répulsive que la chaleur » leur donne ordinairement : mais ils » s'amollissent à mesure que la vertu » répulsive devient plus forte, de sor- » te que quand cette force l'emporte » sur l'attraction, non-seulement la » masse devient liqueur, mais elle se » convertit souvent en un fluide qui » s'évapore *. »

* s'Graves. Phys. El. mathem. p. 18. edit. 1742.

* Ib. p. 662.

M. s'Gravesande, & ceux qui com- me lui suivent exactement l'esprit de M. Newton, ne donnent ces loix que comme des phénoménes : *Hoc nomine phenomenon, non causam designamus* *. Ils ne font nulle difficulté d'a- vouer que ces sortes d'effets peuvent venir de quelque impulsion : *Et si fortè hoc per impulsum fiat* *. Et nous ne devons pas douter qu'ils ne re-

* Ib. p. 18.

* Ibid.

çoivent la pression de l'air subtil & ses effets, au moins comme une hypothése très-probable. Les prétentions des Cartésiens ne vont guéres au-delà; ainsi l'on peut dire qu'ils sont à peu près d'accord avec ces premiers défenseurs des attractions.

Quant à ceux qui regardent les vertus attractives & répulsives comme des principes qui n'ont point de cause physique, ils ne prétendent point, sans doute, que ce soit une chose démontrée; ce n'est qu'une supposition qu'ils établissent sur des vraisemblances & des probabilités. S'il étoit vrai que l'on n'eût pas des raisons plus fortes pour admettre l'air subtil, j'aurois encore à dire, hypothése pour hypothése, je crois qu'il est plus sûr de raisonner sur des principes méchaniques & bien intelligibles, que de s'appuyer sur des nouveautés qui ne se présentent pas sous des idées familiéres à l'esprit.

Au reste le principe des attractions, dans le détail des phénoménes, a-t-il donc des applications aussi heureuses qu'on pourroit se l'imaginer? Il a

beaucoup perdu de sa simplicité, en passant des mains de M. Newton dans celles de ses disciples. Dans les mouvemens célestes cette force agissant en raison directe des masses, & en raison inverse du quarré de la distance, suffit à tout, & fournit des raisons pour expliquer toutes ces grandes révolutions qui animent l'univers : rien n'est si beau. Mais quand il s'agit des phénoménes sublunaires, de ces effets que nous voyons de plus près, & dont l'examen nous est plus facile, la vertu attractive est un Prothée qui change souvent de forme. Les rochers & les montagnes ne donnent aucun signe sensible d'attraction. « C'est, » dit-on, que ces petites attractions » particuliéres sont comme absor- » bées par celle du globe terrestre qui » est infiniment plus grande. » Cependant on nous donne, comme un effet de la vertu attractive, la mousse qui flotte sur une tasse de caffé, & qui se porte avec une précipitation très-sensible vers les bords du vase. « Plus les parties d'un corps se tou- » chent, plus elles s'attirent. » Pour-

quoi donc, lorſqu'on les approche davantage en les comprimant, tendent-elles pour la plûpart à ſe remettre comme elles étoient avant la compreſſion ? (j'entends une compreſſion égale de toute part, qui ne change que la grandeur, & non la figure). » C'eſt qu'après s'être attirées, autant qu'elles le peuvent, elles ſe repouſſent mutuellement. » Pourquoi les vapeurs dilatées ont-elles tant de force ? » C'eſt que les » parties qui s'attiroient, ſous l'état » de liqueur, ſe repouſſent avec violence ſous celui de vapeurs. » Puiſque la vertu attractive eſt une force répartie à tout ce qui eſt matiére, pourquoi certains corps, comme l'eau & l'huile, ne peuvent-ils point s'unir enſemble ? » C'eſt qu'il y a des » matiéres qui ſe repouſſent naturel» lement, &c.

Ce langage eſt-il bien celui d'une bonne Phyſique ? & ne devons-nous pas craindre, qu'en nous y accoutumant, & qu'en mettant ainſi les attractions & répulſions à toutes ſortes d'uſage, on ne ſe diſpenſe trop légè

rement des recherches si nécessaires aux progrès de nos connoissances, & qu'on ne s'interdise de cette maniére plusieurs découvertes qui en seroient le fruit ?

Fin du second Tome.

TABLE



TABLE DES MATIERES

Contenues dans le ſecond Volume.

V. LEÇON.

Sur le Mouvement composé, & ſur les Forces centrales.

VI. LEÇON.

VII. LEÇON.

Sur l'Hydrostatique. 227.

qui

Fin de la Table des Matiéres.

Extrait des Registres de l'Académie Royale des Sciences, du 28. Juin 1743.

MEssieurs DE REAUMUR & DE FOUCHY ayant examiné par ordre de l'Académie, les huit premiéres Leçons de Physique expérimentale de M. l'Abbé Nollet, & en ayant fait leur rapport, l'Académie a jugé cet Ouvrage digne de l'impression. En foi de quoi j'ai signé le présent Certificat. A Paris, le 22. Juillet 1743.

DORTOUS DE MAIRAN, Sec. perp. de l'Acad. Royale des Sciences.

PRIVILEGE DU ROI.

LOUIS, par la grace de Dieu, Roi de France & de Navarre : A nos amés & féaux Conseillers, les Gens tenans nos Cours de Parlement, Maîtres des Requêtes ordinaires de notre Hôtel, grand Conseil, Prevôt de Paris, Baillifs, Sénéchaux, leurs Lieutenans Civils, & autres nos Justiciers, qu'il appartiendra, SALUT. Notre ACADEMIE ROYALE DES SCIENCES Nous a très-humblement fait exposer, que depuis qu'il Nous a plû lui donner par un Réglement nouveau de nouvelles marques de notre affection, Elle s'est appliquée avec

plus de ſoin à cultiver les Sciences ; qui ſont l'objet de ſes exercices ; enſorte qu'outre les Ouvrages qu'elle a déja donnés au Public, Elle ſeroit en état d'en produire encore d'autres, s'il Nous plaiſoit lui accorder de nouvelles Lettres de Privilége, attendu que celles que Nous lui avons accordées en date du ſix Avril 1693. n'ayant point eû de tems limité, ont été déclarées nulles par un Arrêt de notre Conſeil d'Etat du 13. Août 1704. celles de 1713. & celles de 1717. étant auſſi expirées ; & déſirant donner à notredite Académie en corps, & en particulier à chacun de ceux qui la compoſent, toutes les facilités & les moyens qui peuvent contribuer à rendre leurs travaux utiles au Public, Nous avons permis & permettons par ces préſentes à notredite Académie, de faire vendre ou débiter dans tous les lieux de notre obéiſſance, par tel Imprimeur ou Libraire qu'elle voudra choiſir, *Toutes les Recherches ou Obſervations journalieres, ou Relations annuelles de tout ce qui aura été fait dans les aſſemblées de notredite Académie Royale des Sciences ; comme auſſi les Ouvrages, Mémoires, ou Traités de chacun des Particuliers qui la compoſent, & généralement tout ce que ladite Académie voudra faire paroître, après avoir fait examiner leſdits Ouvrages, & jugé qu'ils ſont dignes de l'impreſſion* ; & ce pendant le tems & eſpace de quinze années conſécutives, à compter du jour de la date deſdites Préſentes. Faiſons défenſes à toutes ſortes de perſonnes de quelque qualité & condition qu'elles ſoient, d'en introduire d'impreſſion étrangére dans aucun lieu de notre

obéiſſance : comme auſſi à tous Imprimeurs-Libraires, & autres, d'imprimer, faire imprimer, vendre, faire vendre, débiter ni contrefaire aucun deſdits Ouvrages ci-deſſus ſpécifiés, en tout ni en partie, ni d'en faire aucuns extraits, ſous quelque prétexte que ce ſoit, d'augmentation, correction, changement de titre, feuilles même ſéparées, ou autrement, ſans la permiſſion expreſſe & par écrit de notredite Académie, ou de ceux qui auront droit d'Elle, & ſes ayans cauſe, à peine de confiſcation des Exemplaires contrefaits, de dix mille livres d'amende contre chacun des Contrevenans, dont un tiers à Nous, un tiers à l'Hôtel-Dieu de Paris, l'autre tiers au Dénonciateur, & de tous dépens, dommages & intérêts : à la charge que ces Préſentes ſeront enregiſtrées tout au long ſur le Regiſtre de la Communauté des Imprimeurs & Libraires de Paris, dans trois mois de la date d'icelles ; que l'impreſſion deſdits Ouvrages ſera faite dans notre Royaume & non ailleurs, & que notredite Académie, ſe conformera en tout aux Réglemens de la Librairie, & notamment à celui du 10. Avril 1723. & qu'avant que de les expoſer en vente, les Manuſcrits ou Imprimés qui auront ſervi de copie à l'impreſſion deſdits Ouvrages, ſeront remis dans le même état, avec les Approbations & Certificats qui en auront été donnés, ès mains de notre très-cher & féal Chevalier Garde des Sceaux de France, le ſieur Chauvelin : & qu'il en ſera enſuite remis deux Exemplaires de chacun dans notre Bibliothéque publique, un dans celle de notre

Château du Louvre, & un dans celle de notre très-cher & féal Chevalier Garde des Sceaux de France, le sieur Chauvelin, le tout à peine de nullité des Présentes : du contenu desquelles vous mandons & enjoignons de faire jouir notredite Académie, ou ceux qui auront droit d'Elle & ses ayans cause, pleinement & paisiblement, sans souffrir qu'il leur soit fait aucun trouble ou empêchement : Voulons que la Copie desdites Présentes qui sera imprimée tout au long au commencement ou à la fin desdits Ouvrages, soit tenue pour duement signifiée, & qu'aux Copies collationnées par l'un de nos amés & feaux Conseillers & Secrétaires, foi soit ajoutée comme à l'Original: Commandons au premier notre Huissier, ou Sergent de faire pour l'exécution d'icelles tous actes requis & nécessaires, sans demander autre permission, & nonobstant clameur de Haro, Charte Normande, & Lettres à ce contraires : Car tel est notre plaisir. Donné à Fontainebleau le douziéme jour du mois de Novembre, l'an de grace mil sept cent trente-quatre, & de notre Regne le vingtiéme. Par le Roi en son Conseil. *Signé*, SAINSON.

Registré sur le Registre VIII. de la Chambre Royale & Syndicale des Libraires & Imprimeurs de Paris. Num. 792. fol. 775. conformément aux Réglements de 1723. qui font défenses, art. IV. à toutes personnes de quelque qualité & condition qu'elles soient, autres que les Libraires & Imprimeurs, de vendre, débiter & faire distribuer aucuns Livres pour les vendre en leurs noms, soit qu'ils s'en disent les Auteurs ou autrement; &c. à la charge de fournir les Exemplaires prescrits par l'art. CVIII. du même Réglement. A Paris le 15. Novembre 1734. G. MARTIN, Syndic.



